

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 4 :

センサー、AI 解析等を活用した設備の状態の定期点検の実証

KDDI 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）	3
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	8
2	技術実証内容の詳細	9
2.1	技術実証の方法	9
2.1.1	定期自主検査及び施設等の点検へのドローンや AI の適用可能性の実証	9
2.1.2	ドローンの自律飛行に関する検査・点検への適用可能性の実証	11
2.1.3	開発・活用した技術・システム	13
2.2	実施場所等	23
2.3	実施条件等	40
3	技術実証の結果	47
3.1	結果の評価ポイント・方法	47
3.1.1	構築したシステムの確認項目・方法	47
3.1.2	構築したシステムの評価ポイント・方法	50
3.2	結果及び評価・分析	53
3.2.1	構築したシステムの評価結果サマリー	53
3.2.2	構築したシステムの評価結果詳細	60
3.2.3	実証総括	114
	用語集	133

1 技術実証の概要

1.1 目的

災害・事故の防止等を目的として、LP ガス事業者及び都市ガス事業者が行っている設備・機器の状態の法令に基づく定期自主検査、施設等の点検では、目視点検等の人手による作業が求められている。このような人手による作業が求められる点検項目に対して、ドローンや通信機器等のデジタル技術を活用して不備・劣化に伴う設備・機器等の損傷等を検知可能とすることで、点検周期の延長等に繋がることが期待される。

そのため、現状人手で実施している設備等の定期的な検査・点検に関し、高解像度のカメラやガスセンサー等を搭載したドローンでの点検や検査の代替、及びその点検データに対し AI などの処理を行うことによって、人手による方法と同等以上の精度で効率的に行うことができないかを実証する。

1.2 対象業務（法令）

(1) 高圧ガス保安法第 35 条の 2 に係る施設の定期自主検査

（定期自主検査）

第三十五条の二 第一種製造者、第五十六条の七第二項の認定を受けた設備を使用する第二種製造者若しくは第二種製造者であつて一日に製造する高圧ガスの容積が経済産業省令で定めるガスの種類ごとに経済産業省令で定める量（第五条第二項第二号に規定する者にあつては、一日の冷凍能力が経済産業省令で定める値）以上である者又は特定高圧ガス消費者は、製造又は消費のための施設であつて経済産業省令で定めるものについて、経済産業省令で定めるところにより、定期に、保安のための自主検査を行い、その検査記録を作成し、これを保存しなければならない。

(2) ガス事業法施行規則第 24 条、第 92 条、第 148 条に係る施設等の点検

（保安規程）

第二十四条 法第二十四条第一項の保安規程は、次の事項（特定ガス発生設備においてガスを発生させ、導管によりこれを供給する小売供給を行う者にあつては、当該供給に係る第八号及び第九号の事項を除く。）について定めるものとする。

（一～三 本事業対象外のため省略）

四 ガス工作物の工事、維持及び運用に関する保安のための巡視、点検及び検査に関すること（第九号に掲げるものを除く。）。

（七～八 本事業対象外のため省略）

九 導管の周囲においてガス工作物の工事以外の工事が行われる場合における当該導管の維持及び運用に関する保安に関すること。

（一〇～一三 本事業対象外のため省略）

(保安規程)

第九十二条 法第六十四条第一項の保安規程は、次の事項について定めるものとする。

(一～三 本事業対象外のため省略)

四 ガス工作物の工事、維持及び運用に関する保安のための巡視、点検及び検査に関すること（第九号に掲げるものを除く。）。

(七～八 本事業対象外のため省略)

九 導管の周囲においてガス工作物の工事以外の工事が行われる場合における当該導管の維持及び運用に関する保安に関すること。

(一〇～一三 本事業対象外のため省略)

(保安規程) a

第四百十八条 法第九十七条第一項の保安規程は、次の事項について定めるものとする。

(一～三 本事業対象外のため省略)

四 ガス工作物の工事、維持及び運用に関する保安のための巡視、点検及び検査に関すること（第九号に掲げるものを除く。）。

(七～八 本事業対象外のため省略)

九 導管の周囲においてガス工作物の工事以外の工事が行われる場合における当該導管の維持及び運用に関する保安に関すること。

(一〇～一三 本事業対象外のため省略)

1.3 全体像

(1) 技術実証項目

高圧ガス保安法において、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（定期自主検査）を1年に1回以上行うことが求められている。また、ガス事業法施行規則では、LP ガス事業者及び都市ガス事業者が各事業の用に供するガス工作物及び熱供給施設の工事・維持・運用に関する保安を確保するため、経済産業省令で定めるところにより定める保安規程に基づき、巡視、点検及び検査を実施することが求められている。

本実証では、これらのガス設備の点検作業において、人手による作業負担が大きい点検項目を事業者へのヒアリングを通じて特定し、当該点検項目に対するドローンを活用した情報収集及び、AI 解析を活用した技術適合性の判断を実証する。

各法令に関する具体的な検証項目は下記の A～D の通りである。A、B は点検対象設備や取り扱うガス種が異なるため、本実証ではそれぞれの法令について実運用されている LP ガス事業者（A）及び都市ガス事業者（B）の敷地を実証場所に選定し、実証を行った。また、LP ガス事業者、都市ガス事業者の双方で必要となるドローンの自律飛行について、具体的にフライトルートに関する観点（C）と飛行の安全に関する観点（D）にて実証を行った。

なお、A-4 で設備内の狭く入り組んだ場所の飛行点検についても実証を予定していたが、本実証の実施場所は防爆エリア内であることが事業者との調整で明らかになり、日本において防爆ドローンが存在しないことから、防爆エリア外からの撮影が必要であった。そのため、本実証では実

際の点検現場での狭く入り組んだ場所の実証は遠方からの望遠ズームで撮影が可能な範囲で実証を行った。

- A: 高圧ガス保安法第 35 条の 2 に係る設備の定期自主検査
 - A-1: 錆やひびなどの不具合箇所を確認できるか
 - A-2: 巡視点検などにて必要なアナログメーターの読み込みは可能か
 - A-3: ガス検知カメラを利用しプラント内のガス漏れを検知できるか
 - A-4: 高所などの危険箇所や仮設の足場が必要な箇所における点検が可能か
 - A-5: ドローンで撮影したデータをクラウド上に蓄積可能か
 - A-6: AI での画像解析、手動での点検結果登録ができるか
 - A-7: 点検結果の管理が可能か

- B: ガス事業法施行規則第 24 条、第 92 条、第 148 条に係る施設等の点検
 - B-1: 錆やひびなどの不具合箇所を確認できるか
 - B-2: 巡視点検などにて必要なアナログメーターの読み込みは可能か
 - B-3: ガス検知カメラを利用しプラント内のガス漏れを検知できるか
 - B-4: 高所などの危険箇所や仮設の足場が必要な箇所における点検が可能か
 - B-5: ドローンで撮影したデータをクラウド上に蓄積可能か
 - B-6: AI での画像解析、手動での点検結果登録ができるか
 - B-7: 点検結果の管理が可能か

- C: 自律飛行するためのフライトルートに関する観点
 - C-1: 適切なフライト高度の評価
 - C-2: 適切な飛行ルートの評価
 - C-3: ルートの再現性の評価

- D: 飛行の安全に関する観点
 - D-1: 自律飛行機能の喪失時に安全に帰還できるか
 - D-2: バッテリー残量低下時に安全に帰還できるか
 - D-3: 障害物への衝突を防止し、安全に運航できるか

(2) 開発・活用したシステムの全体像

本実証で開発・活用したシステムの全体像及びシステム構成図を図 1、図 2 に示す。また、各実証項目については、(ア)ドローンや AI を活用して人による検査・点検作業と同等以上に不具合や異常を検知・記録できるかを検証するものと、(イ)ガス事業者の施設等において安全にドローンの自律飛行を行うことが可能かを検証するものに大別できる。それぞれについて、次の方針で具体的実証を行い、各実証項目を確認する。

(ア) 定期自主検査及び施設等の点検へのドローンや AI の適用可能性の実証

① 設備の点検に必要なデータ取得の観点（検証項目 A-1～A-4、B-1～B-4）

LP ガス事業者による設備の定期自主検査及び都市ガス事業者による施設等の点検に必要な情報をドローンに搭載した可視カメラ・サーマルカメラ・ガス検知カメラにて撮影する。

② データ蓄積やデータ解析の観点（検証項目 A-5～A-7、B-5～B-7）

取得データをモバイルネットワーク回線経由でクラウド上に自動アップロードを行い、データの保管、管理を行う。

クラウドにアップロードされたデータをデータマネジメントシステムにて AI 解析を実施し、錆やひびなどの事業者に必要な情報を抽出する。AI に関しては既存のモデルを活用する。

(イ) ドローンの自律飛行に関する検査・点検への適用可能性の実証

③ 自律飛行するためのフライトルートに関する観点（検証項目 C-1～C-3）

ドローン運航管理システムを活用し、防爆エリアや人が立ち入るエリアに侵入させないなど、安全に配慮した上で自律飛行を行うことで事業者の負担を少なくドローンを飛行させ、撮影を行う。飛行はマニュアルと自律飛行の双方での実証を実施し、比較する。なお現状の航空法では自律飛行などの場合においても機体状態監視などの運航管理作業が必要となる。

④ 飛行の安全に関する観点(検証項目 D-1～D-3)

ドローンが自律飛行機能を喪失した際や、バッテリー残量が低下した際、障害物に衝突しないかの検証を検証用フィールドで実証する。

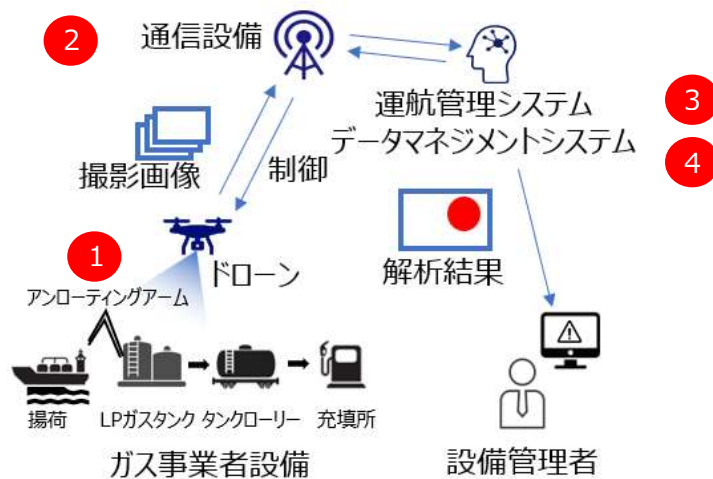


図 1 今回実証するシステムの全体像（①～④は図 2 システム系統図の番号に対照）



図 2 システム構成図

1.4 実施体制・期間

1.4.1 実施体制

表 1 実施体制一覧

事業者名	実施業務・役割
KDDI 株式会社	<ul style="list-style-type: none"> 実証実験計画の全体の取りまとめ 実証実験の結果のまとめ（結果報告書の作成） 実証実験の立ち合い
KDDI スマートドローン株式会社 (KDDI 株式会社からの再委託先)	<ul style="list-style-type: none"> 実証実験の実施に係る全体調整、スケジュール管理 運航管理システム及びデータマネジメントシステムの提供、運用 AI 解析機能の提供 実証実験の運営
株式会社アイ・アール・システム (KDDI スマートドローン株式会社からの再委託先)	<ul style="list-style-type: none"> 実証実験に必要なドローン機体、ドローン搭載ガス検知カメラの提供 実験結果データの収集 ドローンの飛行
西部ガス株式会社/ ひびきエル・エヌ・ジー株式会社（西部ガスグループにて LNG 基地を運用） (実証フィールド提供)	<ul style="list-style-type: none"> 実証実験場所の提供(飛行計画の社内調整、手続) 入構に対する教育実施（安全講習など） 実験に係る準備資料、データ提供

株式会社ミツロコヴェッセル/山梨流通株式会社 (実証フィールド提供)	<ul style="list-style-type: none">• 実証実験の立ち会い、安全確認• 業務課題の確認などヒアリングへのご協力• 実証実験結果の確認、社会実装に向けたディスカッション
---------------------------------------	---

1.4.2 実施期間

2023年12月15日から2024年2月16日

2 技術実証内容の詳細

2.1 技術実証の方法

本実証においては実際のガス事業者の点検現場においてドローンや AI を活用し、目視にて行っていた点検をドローン及び AI にて代替できるかを検証するため、ガス事業者の供給設備等における試験の実施を行った。また、実際のガス事業者の点検現場では実証が難しい非正常系試験（障害物への衝突機能の検証やバッテリー切れ時の検証）はドローン実証フィールドであるコードベースキミツにて実施した。

2.1.1 定期自主検査及び施設等の点検へのドローンや AI の適用可能性の実証

本実証項目においてはガス事業者のプラントにて実施している定期自主点検や巡視・点検の内、目視にて実施している点検・検査をドローンで撮影し、AI にて解析をすることで点検及び検査の代替や検査周期の延長が可能かの検証を行う。1.3(1)における検証項目 A-1~A-4、B-1~B-4 における具体的な実証内容は下記の通りである。

(1) 設備の点検に必要なデータ取得の観点

可視カメラ・サーマルカメラ・ガス検知カメラを搭載したドローンを、防爆観点も含む安全な離隔距離を保ちながらマニュアル飛行及び自律飛行（運航管理システムを使用）させ、LP ガス事業者による設備等の定期自主検査や都市ガス事業者による施設等の点検において確認している錆やひびなどの不具合箇所や巡視点検時に確認が必要なメーター等を撮影し、当該撮影で取得したデータにより従来の点検方法と同等以上の精度で点検が実施可能かを確認する。

表 2 設備の点検観点での実証内容

検証項目	技術実証項目	実証方法
A-1,B-1	錆やひびなどの不具合箇所を確認できるか	従来は人間が巡回や検査の際にプラント内の設備に直接向かい、錆やひびを目で見確認している検査を、防爆エリア外からドローンに搭載した可視カメラ（ズームレンズ）で対象設備等の錆やひびなどの異常箇所を撮影して画像データを取得し、当該データを目視で確認して検査を実施する。また、従来の目視点検において目視では確認できない設備の面的な温度をドローン搭載サーマルカメラにて確認し、面的な温度が確認できるかを実証する。
A-2,B-2	巡視点検などにて必要なアナログメーターの読み込みは可能か	従来方法による巡視点検時には多くのアナログメーターのメーター読み取り、記録作業を行っているため、防爆エリア外からドローンに搭載した可視カメラにて撮影を行ってメーターの画像データを

		取得し、当該データにより目視検査を代替できるかを検証する。
A-3,B-3	ガス検知カメラを利用しプラント内のガス漏れを検知できるか	従来はガス検知器を使用してガスのリークを点で確認し、高精度ではあるが全ての点の確認が必要である検査について、防爆エリア外からドローンに搭載したガス検知カメラを活用してガス漏れ箇所の画像データを取得し、当該データを目視で確認してガス漏れを確認する。本項目は実際のプラント内での検証を行うが、プラント内にガス漏れ箇所がなく、検証が難しい場合は高圧状態、低圧状態双方にて安全な範囲内で意図的にガスを漏れいさせ、同カメラで撮影を行う。
A-4,B-4	高所などの危険箇所や仮設が必要な箇所における点検が可能か	配管ラック上や貯槽の上部など、高所作業になる場所や、栈橋などの海上への落下リスクが発生する場所など人間の作業に危険性がある箇所において高倍率のカメラやサーマルカメラ、ガス検知カメラを搭載したドローンを飛行させ、点検箇所の画像データを取得し、当該データを目視で確認して検査を実施する。

(2) データ蓄積やデータ解析の観点

(1)により撮影されたデータをモバイルネットワーク回線経由でクラウド上のデータマネジメントシステムにアップロードし、同システム上にてAI解析を実施し、錆やひびなどを自動的に抽出できるかを確認する。また、メーターについては撮影された画像から指示値をデジタルデータとして読み取ることで人手での入力などを不要とし、省力化できるかを確認する。

表 3 データ蓄積やデータ解析の観点での実証内容

検証項目	技術実証項目	実証方法
A-5,B-5	ドローンで撮影したデータをクラウド上に蓄積可能か	ドローンで撮影した画像データをモバイルネットワーク回線経由でデータマネジメントシステムに自動でアップロードし、データの保管・管理を行う。手動でアップロードする場合はインターネット回線経由でデータマネジメントシステムにファイルをアップロードする。
A-6,B-6	AIでの画像解析、手動での点検結果登録ができるか	アップロードした画像データを活用し、錆やひび等の不具合の抽出や、アナログメーターの数値化のAI画像解析をデータマネジメントシステムにて行う。AI解析結果は画面上に撮影画像の異常箇

		所や確認ポイントが表示される。
A-7,B-7	点検結果の管理が可能か	AI 画像解析の結果を含む点検結果をファイル名、時系列、場所などで管理する。

2.1.2 ドローンの自律飛行に関する検査・点検への適用可能性の実証

本実証項目においてはプラントにおけるドローンの自律飛行を行えること、自律飛行を行う際に安全面に十分配慮した上で活用可能かの検証を行う。特に定期的に同じ場所を高倍率で撮影を行う巡視点検などにおいては同じルートを毎回飛行できるか、対象物が確実に撮影されているかが重要なポイントとなる。1.3(1)の検証項目 C-1~C-3、D-1~D-3 における具体的な実証内容は下記の通りである。

(1) 自律飛行するためのフライトルートに関する観点

実証箇所毎に複数のフライトルートを設定し、フライトルート毎に 3~5 回飛行を行い、ドローン飛行ルートの再現性や飛行精度などを検証する。検証の項目は表 4 に記載のフライト高度、フライトルート、ルートの再現性の 3 点で検証を行う。

表 4 フライトルートの検証を行う際の観点での実証内容

検証項目	技術実証項目	実証方法
C-1	適切なフライト高度の評価	ドローンのフライト高度は複数のパターンを選択し、高度毎に自律飛行が問題なく行えるかの検証を行う。 フライト高度を高くすると落下半径が大きくなるため、設備への墜落時の破損や防爆エリアの観点から実証フィールド内で対象物との安全距離を保てる高度はどれくらいかを事前に確認しドローンを飛行させる。また、フライト高度により撮影対象の撮影角度が異なるため、点検対象が確認しやすい画像を取得するために必要な高度を実証フィールド毎に選定し飛行を行い、ドローンの飛行時には点検対象毎に十分な枚数の撮影ができるようにプログラムを行う。
C-2	適切な飛行ルートの評価	ドローンのフライトルートは複数のパターンにて設定し飛行を実施する。フライトルートの設定においては、強風でルートがずれた場合の設備への衝突、落下リスクがないかを事前に確認し、飛行前に再度風の影響を確認した上で複数のフライトルートでの飛行を行う。

		ドローンの飛行時には、効率よく一度に複数設備を点検できるかを確認するため、飛行時間を記録する。
C-3	ルートの再現性の評価	同一ルートで 2 回以上の撮影を行い、ドローンが設定したフライトルートと同じルートを飛行しているかを確認し、巡回点検など日常の点検に活用できるかを検証する。また、ドローンが撮影した画像データについて、点検に必要なメーターなどの対象物が画角に入っているかを確認し、対象物の角度や位置がフライト毎にどの程度異なるかを検証する。

(2) 飛行の安全に関する観点

倒木や予期せぬ障害物への衝突やバッテリーが切れそうな場合に安全に飛行を中止し、機体が帰還できるかどうかを検証する。実証の観点としては表 5 に記載の自律飛行機能の喪失、バッテリー残量低下、障害物への衝突防止の 3 点で検証を行う。

表 5 飛行の安全に関する観点での実証内容

検証項目	技術実証項目	実証方法
D-1	自律飛行機能の喪失時に安全に帰還できるか	ルート上の予期せぬ障害物などによってドローンの自律飛行機能が失われた際にマニュアル飛行に切り替えられることを確認し、自律飛行機能が喪失した際に安全に帰還することが可能かどうかを実証する。
D-2	バッテリー残量低下時に安全に帰還できるか	ドローンのバッテリー残量が低下した場合、運行者にアラートが通知され、さらに帰還が必要な場合は自動的に離陸点などの指定箇所へ移動し、安全に着陸できることを実証する。
D-3	障害物への衝突を防止し、安全に運航できるか	指定されたフライトルート上に足場などルート設定時にはなかった障害が置かれた場合に、障害物をドローン搭載の障害物センサーが検知し、運行者にアラートが通知されることを確認する。また、設定した危険距離に到達するとドローンが自動で飛行を停止しその場でホバリング（空中停止）することで、事故を発生させずに安全に停止できるかを実証する。

2.1.3 開発・活用した技術・システム

(ア) ドローン

今回の実証においては産業用途においても広く活用されており、実績も豊富な DJI 社製 Matrice300RTK を使用し実証を行った。本ドローンはペイロードの交換が可能であり、今回の実証においてはズームカメラ・広角カメラ・サーマルカメラが一体になったカメラモジュールとガス検知カメラを交換しながら実証に必要な撮影を行った。使用したドローン及び搭載したカメラの性能を表 6、表 7、表 8 に示す。



図 3 Matrice 300 RTK 本体

表 6 使用ドローンのスペック

機体サイズ	810×670×430 mm
重量	6.3kg (バッテリー2 個搭載時)
フライト時間	55 分間
ペイロード	ズームカメラ 広角カメラ サーマルカメラ ガス検知カメラ
位置精度	(RTK 利用) 垂直 ±0.1m, 水平 ±0.1m (GPS 利用) 垂直 ±0.5m, 水平 ±1.5m
防水防塵性能	IP45
耐風性能	15 m/s, 12 m/s (離着陸中)
動作温度	-20℃ ~ 50℃



図 4 ドローン搭載可視・サーマルカメラ(DJI H20T)



図 5 ドローン搭載可視・サーマルカメラ ズームカメラサンプルイメージ

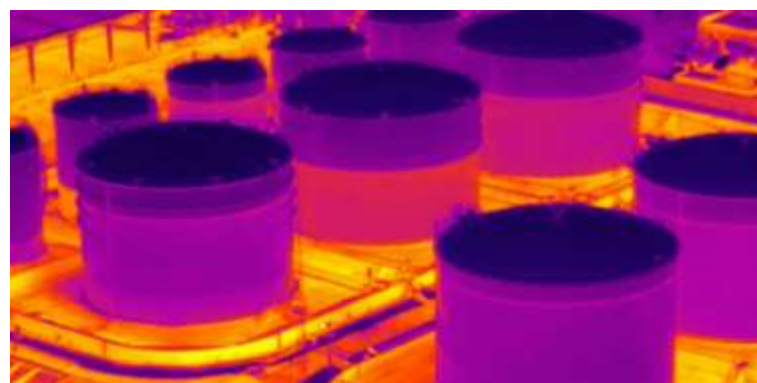


図 6 ドローン搭載可視・サーマルカメラ ズームカメラサンプルイメージ (貯蔵タンクの例)

表 7 ドローン搭載可視・サーマルカメラ(DJI H20T)の仕様

重量	828±5 g
サイズ	167×135×161 mm
防水防塵性能	IP44
動作環境温度	-20℃ ～ 50℃ (温度測定は、-10℃ ～ 50℃ の場合のみ可能)
ズームカメラセンサー	1/1.7 インチ CMOS、20 MP
ズームカメラレンズ	DFOV (対角視野) : 66.6°～4° 焦点距離 : 6.83～119.94 mm (判換算 : 31.7～556.2 mm) 絞り : F2.8～F11 (通常) 、F1.6～F11 (夜間 撮影) フォーカス : 1 m～∞ (ワイド) 、8 m～∞ (望 遠)
ズームカメラ動画解 像度	1920×1080@30fps
ズームカメラ写真サ イズ	4056 × 3040
サーマルカメラセンサ ー	非冷却 VOx マイクロボロメーター
サーマルカメラレンズ	DFOV (対角視野) : 40.6° 焦点距離 : 13.5 mm (判換算 : 58 mm) 絞り : F1.0 フォーカス : 5 m～∞
サーマルカメラ動画 解像度	640×512 @ 30 Hz
サーマルカメラ写真 サイズ	640×512



図 7 ドローン搭載ガス検知カメラ(OGI 640)

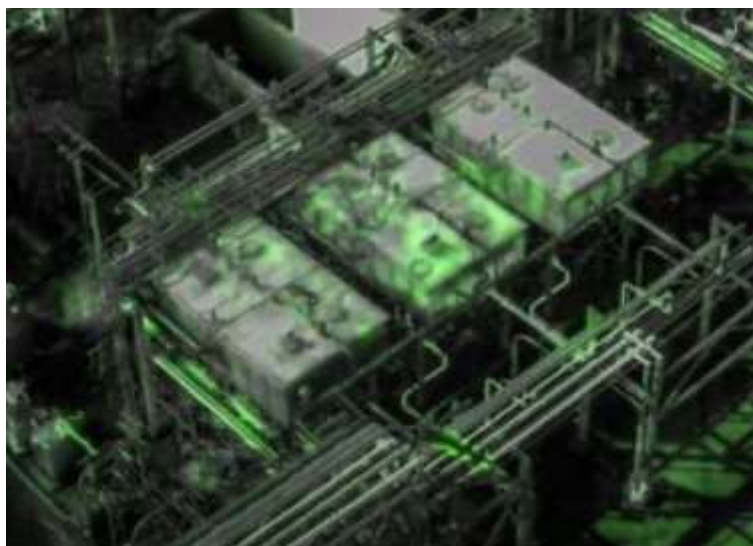


図 8 ドローン搭載ガス検知カメラ サンプルイメージ (プラントの例)
 ※ガス漏えい時の見え方については、図 100 等を参照のこと。

表 8 ドローン搭載ガス検知カメラ(OGI 640)の仕様

重量	約 1,150g (ポート部分含む)
サイズ	148 x 71 x 73mm
動作温度	-35 ~ +65℃
規格	60g/hr 以下 (米国環境保護庁(EPA) OOOOa 準拠)
センサー	SCD 社製高速・高感度冷却式 MWIR デテクタ (HOT)
レンズ	焦点距離 25mm

	HFOV 21.7°
動画解像度	640×512 @ 30 Hz
写真サイズ	640×512
波長	3.2 – 3.42 μm

(イ) 運航管理システム

今回の実証においては KDDI スマートドローン製の運航管理システム（下記リンク参照）を使用した。商用の実績がある運航管理システムであり、かつモバイルネットワーク回線を経由した遠隔運航管理ができるシステムである。

（KDDI スマートドローン製の運航管理システム・閲覧日 2024/02/16・

<https://kddi.smartdrone.co.jp/technology/control/>）

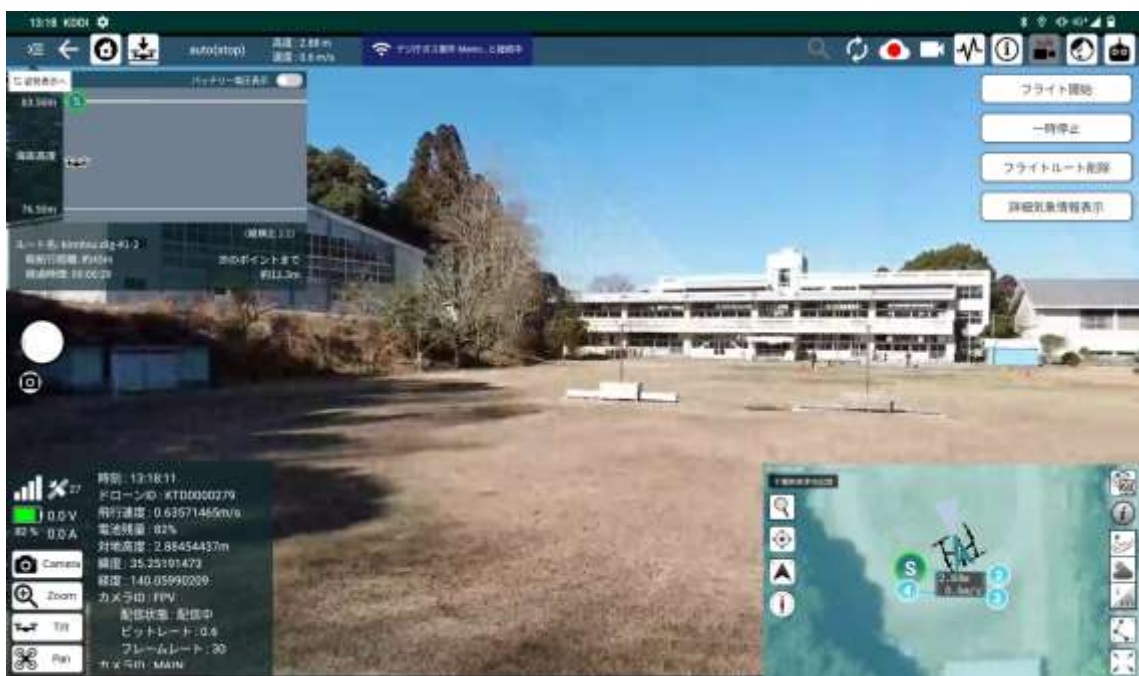


図 9 運航管理システム 自律飛行による運航状態



図 10 運航管理システム ルート設定画面

(ウ) 通信(モバイルネットワーク)

ドローンの制御や画像の伝送においては、現在活用されているドローン（本実証で活用するドローンを含む）においては Wi-Fi などの ISM バンドを活用した通信手段を活用するか、画像はドローンにアタッチされるメモリーカード経由で人の手でデータを移動させる必要がある。しかしながら、Wi-Fi などのネットワークが届かない広い敷地などでは遠隔監視ができないなどの問題も発生するため、ドローンの制御や画像の伝送のためにキャリア回線を使用したモバイルネットワークの活用が必要となる。今回の実証場所のように広範にわたるガス事業者の設備をカバーする場合は Wi-Fi では電波が到達せず制御を行えないためモバイルネットワークを実証に活用する。なお、今回活用するモバイルネットワークは KDDI が提供し人口カバー率において 99.9% となり広い範囲での切れ目ないドローン遠隔運航への活用が可能な回線である。



図 11 通信モジュール 外観



図 12 通信モジュール 搭載状態

表 9 通信システム（スマートドローンアタッチメント）の仕様

サイズ (W x H x D)	84mm×56mm×30mm (アンテナ以外)
重量	約 162g
LTE 通信対応周波数	Band1 (2GHz) ,Band3 (1.7GHz) ,Band18 (800MHz)

(エ) データマネジメントシステム

① データマネジメントシステムの概要

撮影した点検画像については、モバイルネットワーク回線やメモリーカードを通じて、データマネジメントシステムと呼ばれる KDDI の管理するクラウドプラットフォーム上に保管する。データマネジメントシステムではデータの保管、管理の他に AI データマネジメントシステムが錆やひびの検知、メーターの読み取りを行い検査や巡視の支援を行う。

② データマネジメントシステムの主な機能

データ解析を行うための機能が揃っており、各機能を下記に示す。

- ドローンで撮影した画像のクラウドへのアップロード(手動・自動)
- アップロードしたデータの蓄積・任意でフォルダ化
- 蓄積されたデータの AI 解析処理の実行・解析結果の表示
- 解析結果に対する、手動による点検結果や点検済みであることの登録

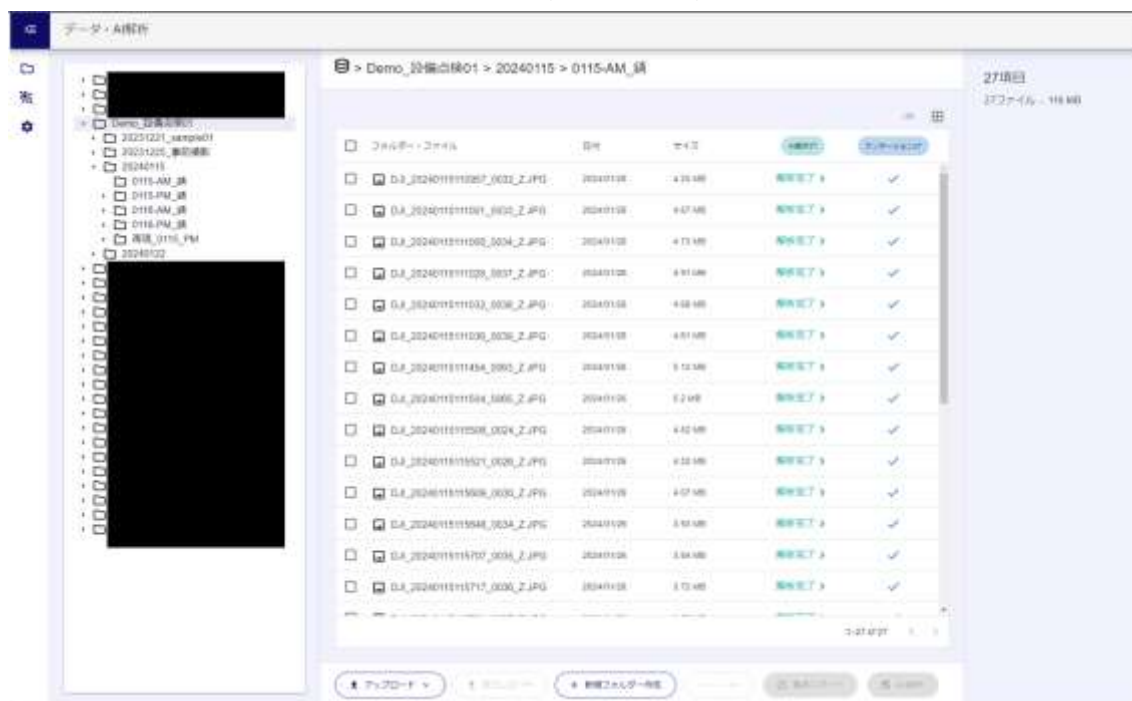


図 13 データマネジメントシステム 解析結果一覧画面

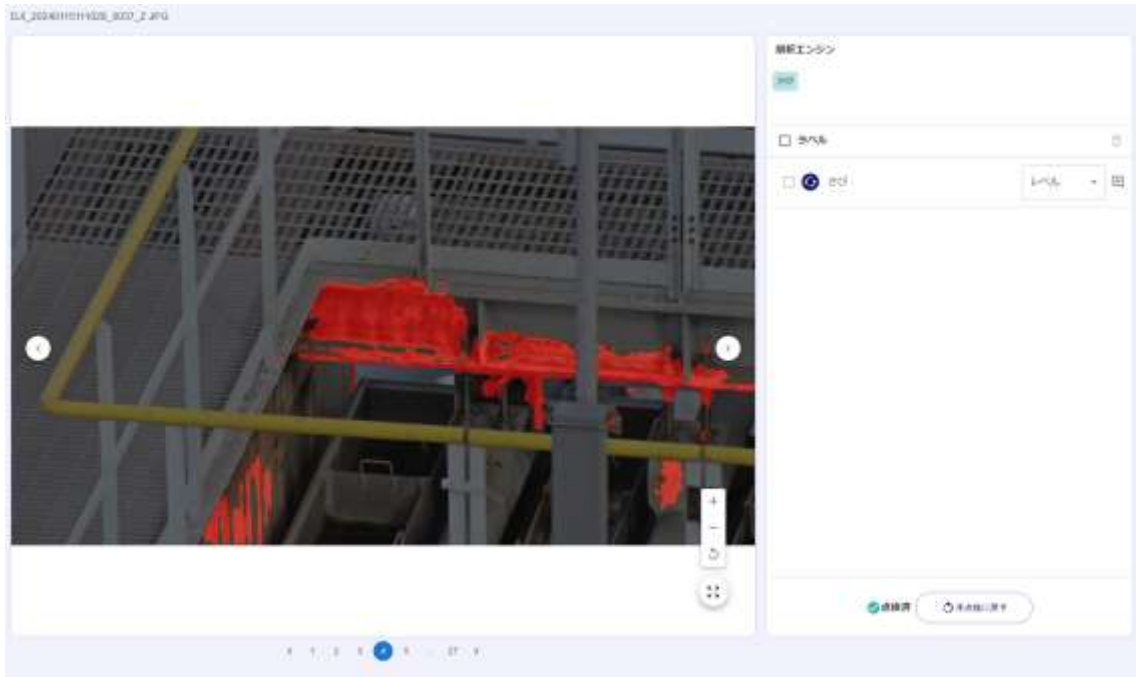


図 14 データマネージメントシステム 解析結果表示画面

③ 活用した AI モデルの概要(錆向けモデル)

推論速度と精度のバランスが良いことで定評のある、DeepLab v3+を用いたセマンティックセグメンテーションを採用した(図 15)。AIモデルのライブラリはTensorFlow (keras) を活用している。本モデルは、約 3000 枚の錆画像で学習し、鉄塔(溶融亜鉛メッキの鉄構造物)の錆検出用途に開発されたモデルであり、自己蒸留(※)を適用することで予測精度を向上させている。

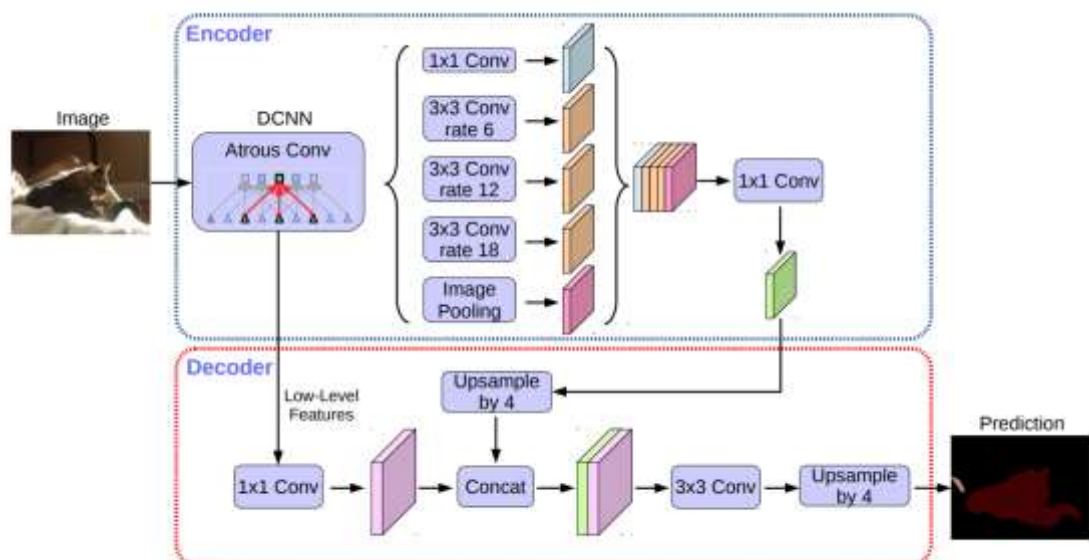


図 15 DeepLab v3+のネットワーク構成

※自己蒸留：教師モデルと同じサイズの生徒モデルに知識蒸留する手法。生徒モデルを新たな教師モデルとみなし知識蒸留を繰り返すことで、モデルの精度を向上させる。

④ 活用した AI モデルの概要(ひび向けモデル)

深層学習フレームワークは「Pytorch」、モデルアーキテクチャは U-Net ベースアーキテクチャのひび検知用深層学習モデルを採用した。

今回採用したコンクリートひび検出システムは、ドローン等での撮像画像を入力することで、ひび位置ピクセルを検出するシステムである。検出後、検出結果に基づいて、ひび独自の特徴を分析してレポートを作成する。

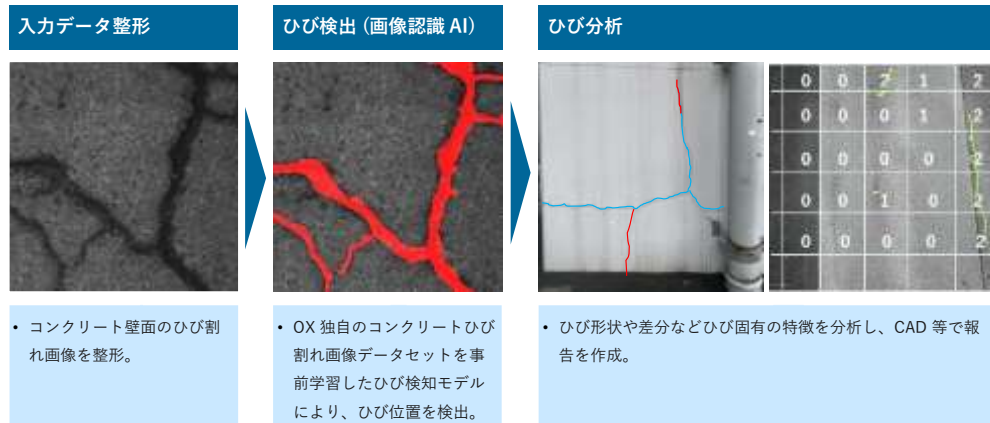


図 16 ひびモデルの処理ワークフロー

⑤ 活用した AI モデルの概要(メーター向けモデル)

深層学習フレームワークは「Pytorch」、モデルアーキテクチャは U-Net ベースアーキテクチャの計器読取用深層学習モデルを採用した。

今回採用した計器読取システムは、ドローン等での撮像画像から、まず計器箇所を物体検出し、さらにその盤面文字と指示針を画像認識することで、その計器が示す値を自動で読み取るシステムである。



図 17 メーターモデルの処理ワークフロー

2.2 実施場所等

(1) ひびき LNG 基地

(ア) 場所：北九州市若松区向洋町 20-1

(イ) 日付：2024 年 1 月 15 日-2024 年 1 月 16 日

(ウ) 当日のスケジュール

表 10 ひびき LNG 基地における実施スケジュール

日付	時間	作業内容
2024 年 1 月 15 日	9:00-11:00	機体設定
	11:00-16:00	LNG 気化器、熱調整装置、LPG 貯槽の点検
2024 年 1 月 16 日	9:00-16:00	LNG 貯槽の点検、自律飛行実証試験

(エ) 実施した検証項目及び対象設備

ガス事業法施行規則第 24 条、第 92 条、第 148 条に係る施設等の点検についての実証を行った。また、自律飛行するためのフライトルートに関する観点についても実証を行った。具体的な検証項目としては 2.1 で示した B1～B7 及び C1～C3 となる。

対象設備と検証項目の対応

- ① LNG 貯槽：B-1,B-2,B-3,B-4,B-5,B-6,B-7,C-1,C-2,C-3
- ② LPG 貯槽：B-1,B-2,B-3,B-4,B-5,B-6,B-7
- ③ LNG 気化器：B-1,B-2,B-3,B-4,B-5,B-6,B-7
- ④ LPG 増熱器：B-1,B-2,B-3,B-4,B-5,B-6,B-7
- ⑤ 配管ラック：B-1,B-4,B-5,B-6,B-7

(オ) 実証の様子

実証は西部ガスグループにて LNG 基地の運用を行っているひびきエル・エヌ・ジー株式会社の協力を得てひびき LNG 基地にて実証試験を行った。ひびき LNG 基地は九州北部の天然ガス広域供給拠点として、世界最大級の LNG タンカーの受入も可能な基地であり、インフラとして適切な維持管理が求められる重要設備である。今回は図 15 の通り、実証場所に存在するガス事業法施行規則に基づく点検が必要な施設、LNG 貯槽（LNG タンク）、LPG 貯槽（LPG タンク）、LNG 気化器、LPG 増熱器（熱調整装置）、配管ラックの設備付近にドローンを飛行させ、ドローンでの点検等が可能かを実証した。



図 18 ひびき LNG 基地全景（ひびきエル・エヌ・ジーホームページ・ひびきエル・エヌ・ジー株式会社・閲覧日 2024/01/30・<https://www.hibiklng.co.jp/terminal.html>）



図 19 LNG 貯槽を点検中の様子



図 20 貯槽上部を広角カメラで撮影した様子（図 18 は赤枠部分をズームカメラで撮影）



図 21 貯槽上部の配管錆をズームカメラで撮影した様子



図 22 貯槽上部のステージを広角カメラで撮影した様子
(図 20 は赤枠部分をズームカメラで撮影)



図 23 貯槽上部のアナログメーターをズームカメラで撮影した様子



図 24 LPG 貯槽の点検



図 25 LPG 貯槽に付近の配管フランジの錆を撮影している様子



図 26 気化器の点検



図 27 気化器を上空から撮影した様子



図 28 ガス検知カメラでの撮影状況

(2) 山梨流通株式会社 都留事業所

(ア) 場所：山梨県南都留郡西桂町小沼 1 9 4

(イ) 日付：2024 年 1 月 22 日

(ウ) 当日のスケジュール

表 11 都留事業所における実施スケジュール

日付	時間	作業内容
2024 年 1 月 22 日	13:00-13:30	機体設定
	13:30-16:00	LPG 貯槽、配管、充てん機、ローディングアーム、 圧縮機の点検。自律飛行実証試験

(エ) 実施した検証項目及び対象設備

高圧ガス保安法第 35 条の 2 に係る設備の定期自主検査についての実証を行った。また、自律飛行するためのフライトルートに関する観点についても実証を行った。具体的な検証項目としては下記の A1～A7 及び C1～C3 となる。

対象設備と検証項目の対応

- ① LPG 貯槽：A-1,A-2,A-3,A-4,A-5,A-6,A-7

- ② 配管：A-1,A-3,A-4,A-5,A-6,A-7
- ③ 充てん機：A-1,A-2,A-3,A-4,A-5,A-6,A-7,C-1,C-2,C-3
- ④ ローディングアーム：A-1,A-3,A-4,A-5,A-6,A-7
- ⑤ 圧縮機：A-1,A-2,A-3,A-4,A-5,A-6,A-7

(オ) 実証の様子

実証はミツウロコグループにて LP ガス充てん所の運用を行っている山梨流通株式会社 都留事業所の協力を得て実証試験を行った。山梨流通株式会社 都留事業所は山梨県の LP ガス供給拠点として、地域への LP ガス配送の拠点となり、インフラとして適切な維持管理が求められる重要設備である。今回は、LPG 貯槽、配管、充てん機、ローディングアーム、圧縮機など、実証場所に存在する点検が必要な設備付近にドローンを飛行させ、ドローンでの点検等が可能かを実証した。

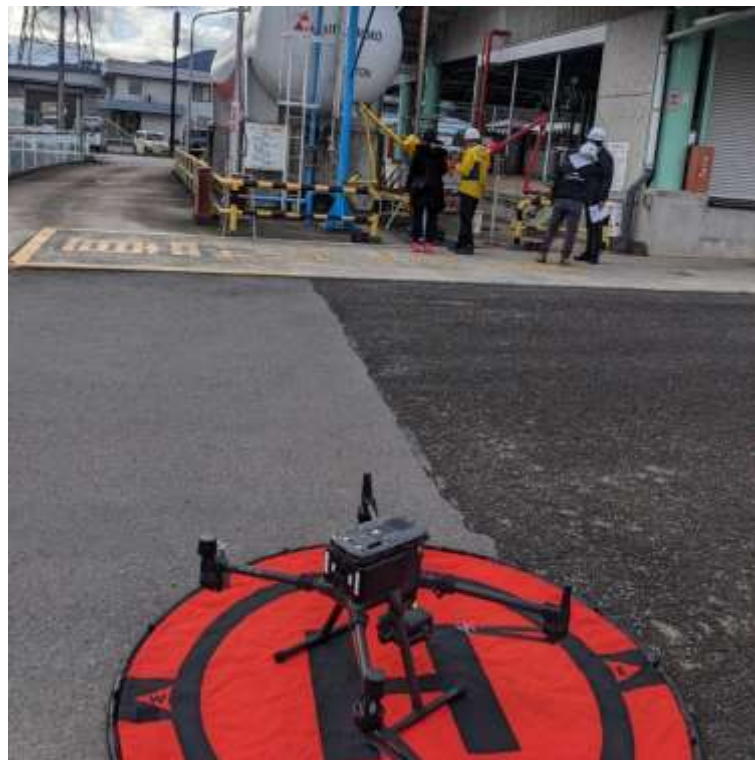


図 29 実証前に施設の配置を確認する様子



図 30 ドローン準備



図 31 貯槽周辺の点検



図 32 ローディングアームの点検



図 33 圧縮機の点検

- (3) 山梨流通株式会社 田富事業所
- (ア) 場所：山梨県中央市布施1357
- (イ) 日付：2024年1月23日
- (ウ) 当日のスケジュール

表 12 田富事業所における実施スケジュール

日付	時間	作業内容
2024年1月23日	9:00-9:30	機体設定
	9:30-12:00	LPG貯槽、配管、充てん機、ローディングアーム、圧縮機の点検。自律飛行実証試験

(工) 実施した検証項目及び対象設備

高圧ガス保安法第 35 条の 2 に係る設備の定期自主検査についての実証を行った。また、自律飛行するためのフライトルートに関する観点についても実証を行った。具体的な検証項目としては下記の A1～A7 及び C1～C3 となる。

対象設備と検証項目の対応

- ① LPG貯槽：A-1,A-2,A-3,A-4,A-5,A-6,A-7
- ② 配管：A-1,A-3,A-4,A-5,A-6,A-7
- ③ 充てん機：A-1,A-2,A-3,A-4,A-5,A-6,A-7,C-1,C-2,C-3
- ④ ローディングアーム：A-1,A-3,A-4,A-5,A-6,A-7
- ⑤ 圧縮機：A-1,A-2,A-3,A-4,A-5,A-6,A-7

(オ) 実証の様子

実証はミツウロコグループにて LP ガス充てん所の運用を行っている山梨流通株式会社 田富事業所の協力を得て実証試験を行った。山梨流通株式会社 田富事業所は山梨県の LP ガス供給拠点として、地域への LP ガス配送の拠点となり、インフラとして適切な維持管理が求められる重要設備である。今回は、LPG 貯槽、配管、充てん機、ローディングアーム、圧縮機など、実証場所に存在する点検が必要な設備付近にドローンを飛行させ、ドローンでの点検等が可能かを実証した。



図 34 ドローン準備



図 35 貯槽の点検



図 36 自律飛行による自動点検試験



図 37 自律飛行による自動点検試験



図 38 試験用設備でガス漏れを起こす様子

(4) コードベースキミツ

(ア) 場所：千葉県君津市広岡 1000

(イ) 日付：2024年1月26日

(ウ) 当日のスケジュール

表 13 コードベースキミツにおける実施スケジュール

日付	時間	作業内容
2024年1月26日	11:00-12:00	機体設定
	13:00-16:00	非正常系の試験、需要家設備の撮影

(エ) 実施した検証項目

自律飛行するためのフライトルートに関する観点、飛行の安全に関する観点の実証を行った。具体的な検証項目としては下記の C1～C3 及び D1～D3 となる。

- C:自律飛行するためのフライトルートに関する観点
 - C-1:適切はフライト高度の評価
 - C-2:適切な飛行ルートの評価
 - C-3:ルートの再現性の評価

- D:飛行の安全に関する観点
 - D-1:自律飛行機能の喪失時に安全に帰還できるか
 - D-2:バッテリー残量低下時に安全に帰還できるか
 - D-3:障害物への衝突を防止し、安全に運航できるか

(オ) 実証の様子

実証試験は KDDI グループのコードベースキミツにて行った。実寸大の建物及び需要家設備を備えているため、今回は飛行の安全に関する観点でドローンを飛行させ、ドローンでの運航の安全性を実証した。



図 39 コードベースキミツ 全景



図 40 実証フィールドと機体



図 41 運航管理システム 操作画面



図 42 運航管理システム評価中の様子



図 43 ガス需要家設備の撮影状況

2.3 実施条件等

(1) アナログ規制への技術の活用にあたって、留意が必要と見込まれるポイント

(ア) 天候

① 風速

今回の実証においては実証協力事業者との合意の下、ドローン事業者の航空法に基づく包括申請の範囲内である風速 5m/sec 以下の地上風速において実証を行った。

実装時においては国土交通省航空局標準マニュアル①（インフラ点検等）（令和 4 年 12 月 5 日版）¹に記載の「3-1 無人航空機を飛行させる際の基本的な体制」に記載の「(2)機体の耐風性能を上回る風速では飛行させない。」に従い、飛行させることが必要なため、巡視点検などの日常点検に活用する場合は風速が高く、運航不可の場合を想定し業務設計を行う必要がある。

② 降雨・降雪

今回の実証においては降雨・降雪時の飛行は行っていない。

実装時においては国土交通省航空局標準マニュアル①（インフラ点検等）（令和 4 年 12 月 5 日版）に記載の、3-1 無人航空機を飛行させる際の基本的な体制に記載の「(3)雨の場合や雨になりそうな場合は飛行させない。」に従い、原則としては降雨・降雪時は飛行しないことが望ましい。一方で多少の降雨に耐えられる産業用ドローンも市場には存在するため、リスクと飛行の必要性のバランスを十分な考慮を行った上で必要な飛行作業であれば許認可を取得した上での飛行を行うことも可能である。

(イ) 通信環境

① ドローンとプロポ（操縦用のコントローラー）で通信する場合

一般的なドローンは 2.4GHz などの ISM バンドを活用する 경우가多く、工場内の無線 LAN や制御ネットワークとの干渉によりメーカ公称値よりも通信範囲が大幅に減少する可能性に留意する必要がある。

今回の実証場所においても配管やタンクなどの金属構造物に遮蔽され通信範囲がメーカ公称値に比べ減少した。事前に環境測定やテストフライトを行うことで通信範囲を確認する必要がある。

ドローンの飛行にあたっては、無線局免許及び無線局従事者免許を取得した上で他の周波数帯を使用することも可能であるため総務省の総合通信局と調整の上、適切な無線通信システムを使用する必要がある。今回は携帯電話事業者の包括免許にて運用されるキャリア回線（モバイルネットワーク回線）と 2.4GHz の無線通信システムを活用した。

¹ 国土交通省航空局標準マニュアル①（インフラ点検等）（令和 4 年 12 月 5 日版） 国土交通省 (<https://www.mlit.go.jp/common/001521384.pdf>)

分類	無線局免許	周波数帯	最大送信出力	主な利用形態	備考	熟練従事者資格
免許又は登録を要しない無線局	不要	73MHz帯等	※1	操縦用	ラジオコン用微弱無線局	不要
	不要※2	920MHz帯	20mW	操縦用	920MHz帯テレメータ用、テレコントロール用特定小電力無線局	
		2.4GHz帯	10mW/MHz※3	操縦用、画像伝送用、データ伝送用	2.4GHz帯小電力データ通信システム	
携帯局	要※4	169MHz帯	10mW※5	操縦用、画像伝送用、データ伝送用	無人移動体画像伝送システム（平成28年8月に制度整備）	第三級陸上特級無線技士以上の資格
		2.4GHz帯	1W	操縦用、画像伝送用、データ伝送用		
		5.7GHz帯	1W	操縦用、画像伝送用、データ伝送用		
その他	不要※6	800MHz帯等	※7	操縦用、画像伝送用、データ伝送用	携帯電話（4G、5G）	不要

※1：500mの距離において、電界強度が200 μ V/m以下のもの。

※2：技術基準適合証明等（技術基準適合証明及び工事設計認証）を受けた適合表示無線設備であることが必要。

※3：空調方式や占有周波数帯幅によって出力の上限は異なる。

※4：運用に関しては、運用調整を行うこと。

※5：地上から電波放射を行う無線局の場合は最大1W。

※6：携帯電話事業者の包括免許により運用。

※7：基地局によって制限される。

図 44 国内でドローン等での使用が想定される主な無線通信システム
 （総務省ドローン等に用いられる無線設備について・総務省・閲覧日 2024/01/30・
<https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/drone/>）

② モバイルネットワーク回線経由で通信する場合

モバイルネットワーク回線を使用可能なドローンの場合は通信事業者がサービスしているモバイルネットワークを活用し、モバイルネットワーク回線が届く広い範囲での運用が可能となる。しかしながらモバイルネットワークにおいても上空利用と地上利用では通信可能範囲が異なるため、回線環境測定やテストフライトを行うことで事前に通信範囲を確認する必要がある。また、上空でモバイルネットワークを活用した場合は地上の基地局設備に影響をもたらす場合があるため、事前に申請の上での利用が必要となる点には留意されたい。



図 45 携帯電話の上空利用のサービス利用イメージ
 (総務省 無人航空機等における携帯電話等の端末の利用・総務省・閲覧日
 2024/01/30・

<https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/drone/uav/index.htm>)

(ウ) 飛行経路

LP ガス事業者、都市ガス事業者に関わらず、工場内のガス発生設備や配管などは防爆エリアに該当するため、国内防爆認証を取得していないドローンは防爆エリア内への侵入が不可能である。防爆エリアに関しては「プラント内における危険区域の精緻な設定方法に関するガイドライン²」を活用し、防爆エリアのアセスメントを行うことで飛行を可能とする方法を検討し活用範囲を広げる必要がある。

今回実際にドローンによる点検を実施する事業者の設備はインフラ供給に関わる重要設備であり、かつ厚生労働省が定める労働安全衛生法により防爆エリアが定められている。そのため、本実証においては当日の風速やドローンの重量、受風面積から算出した安全離隔距離を定め、万が一墜落などの事態が発生した際も機体が防爆エリア内に入らないように安全管理を実施した。

² プラント内における危険区域の精緻な設定方法に関するガイドライン 経済産業省 閲覧日 2023/12/1
https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/sangyo/hipregas/hourei/guideline_.html

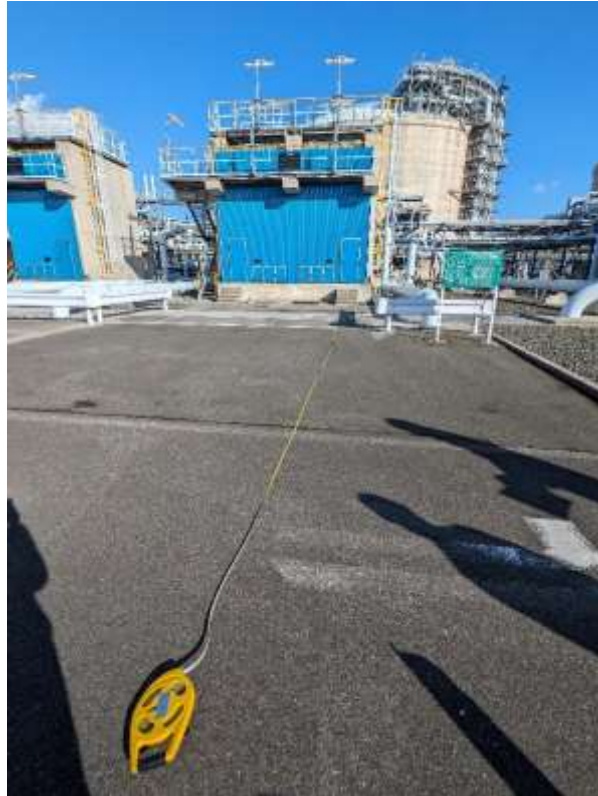


図 46 安全管理 離隔距離の計測（ひびき LNG 基地）



図 47 安全管理 風速の確認（ひびき LNG 基地）

(工) 飛行時の体制

飛行の実施に際しては実際の想定される実装時に比べて多くの人員を配置した。
今回の実証における実施手順書に従い5つの役割を設定し、実証を行った。

表 14 実証体制

役割	人数	作業内容
実証進行	1名	実証手順書に基づき実証の進行を行う
ドローン操縦者	1名	ドローンの操縦、ルートの設定などを行う
映像モニター評価者	1名	ドローンで取得した画像の評価、対象物の確認
安全管理者	1名	防爆エリアへの誤進入や障害物などの離隔などを管理
監視員	2名	防爆エリアへの誤進入や障害物などの離隔などを監視

(2) 実証にあたっての特別な手続（行政手続等）

(ア) 国土交通省飛行許可・承認手続

ドローンを飛行する際は場所や時間、飛行方法によって航空法に基づく許可が必要な場合「無人航空機の飛行許可・承認手続³」を参照し手続を行う必要がある。今回の実証においては、一部の地域が飛行申請、許可が必要な人口集中地区に該当するため、申請が必要であった。

なお、人口集中地区においての飛行申請は場所を特定しない飛行の包括申請制度を活用したため、今回の実証においては実証対象の飛行範囲における個別の申請は行っていない。

³ 無人航空機の飛行許可・承認手続 国土交通省
(https://www.mlit.go.jp/koku/koku_fr10_000042.html)

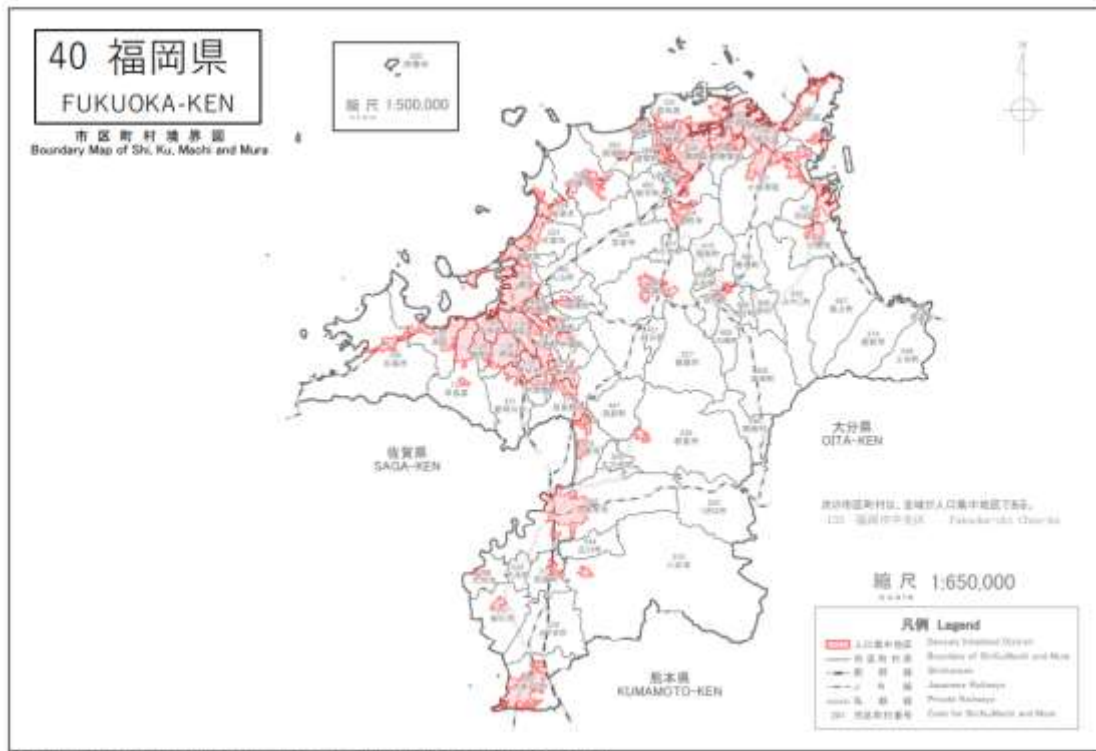


〔国土情報提供（行政区域、国境及び自治体コード）〕〔国土情報提供〕<https://sdftp.nsl.go.jp/ko/>〕を加工して作成。

図 48 人口集中地区（山梨県）

（国勢調査 人口集中地区境界図（平成 27 年、令和 2 年）・総務省統計局・閲覧日 2024/01/30・

https://www.stat.go.jp/data/chiri/map/c_koku/kyokaizu/index.html）



「国土数値情報（市町村界、鉄道及び国道路線）」、「国土交通省」 <https://afp.jp/afp/afp/afp/afp/> を加工して作成。

図 49 人口集中地区（福岡県）

（国勢調査 人口集中地区境界図（平成 27 年、令和 2 年）・総務省統計局・閲覧日 2024/01/30・

https://www.stat.go.jp/data/chiri/map/c_koku/kyokaizu/index.html）

（イ）事業所内の申請

今回の一部実証フィールドにおいては、プラントにおける安全上の理由から保安規程など所内のルールに基づき、安全管理部門がドローンを含めた火気の運用管理や危険エリアの管理を行っている。そのため、事業所所定のフォーマットに飛行範囲や飛行高度を記載し事前の安全管理部門の承認を得た。

（ウ）管轄の地域消防への通知

今回の実証においては法的には義務づけられてはいないが、プラントにおけるドローンの安全な運用方法に関するガイドライン Ver3.0⁴「2.5 事前協議等の実施」に従い、LP ガス事業者及び都市ガス事業者より管轄の消防本部へ実証実験を行う旨と飛行計画の通知及び飛行計画の共有を行った。

⁴ プラントにおけるドローンの安全な運用方法に関するガイドライン Ver3.0 石油コンビナート等災害防止 3 省連絡会議（総務省消防庁、厚生労働省、経済産業省）
https://www.fdma.go.jp/relocation/neuter/topics/fieldList4_16/pdf/r04/jisyuhoan_shiryo_02.pdf

3 技術実証の結果

3.1 結果の評価ポイント・方法

3.1.1 構築したシステムの確認項目・方法

本実証で構築したドローンによる情報収集や AI 解析等を活用したシステムの具体的な確認項目・方法は 1.3(1)における検証項目 A-1~A-4、B-1~B-4、C-1~C-3、D-1~D-3 に対応する形で下記に記載する。

表 15 検証項目と確認項目、方法一覧

検証項目	技術実証項目	確認項目	確認方法
A-1,B-1	錆やひびなどの不具合箇所を確認できるか	<ul style="list-style-type: none"> ガス事業者が実施する定期自主点検や施設等の点検に必要な画像を取得し、目視点検を人間と同等のレベルで行えるか 	<ul style="list-style-type: none"> ドローンの可視カメラで錆・ひびなどの腐食を撮影し、その画像から点検担当者が通常の見視点検と同じレベルで異常を判断できるか確認する ドローンのサーマルカメラで設備の面的な温度を撮影し、その画像から点検担当者がガス漏れ等の異常を判断可能か確認する
A-2,B-2	巡視点検などにて必要なアナログメーターの読み込みは可能か	<ul style="list-style-type: none"> ガス事業者における設備の巡視点検を行う際に必要なアナログメーターの画像を取得し、その画像をみて正確な指示値の読み取りができるか 	<ul style="list-style-type: none"> ドローンの可視カメラでアナログメーターを撮影し、その画像から点検担当者が通常の見視点検と同じレベルで数値を読み取れるか確認する
A-3,B-3	ガス検知カメラを利用しプラント内のガス漏れを検知できるか	<ul style="list-style-type: none"> 操業状態におけるガス事業者の設備の画像を取得し、その画像からガス漏れを検知できるか 	<ul style="list-style-type: none"> ドローンのガス検知カメラでガス事業者の設備を撮影し、その画像から点検担当者が通常の見視点検と同じレベルでガス漏れに気付くことができるか確認する 実際のガス漏れが生じていない場合は高圧状態でのガス漏れ状態と低圧状態でのガス漏れ状態をそれぞれ意図的に再現し、ガス検知カメラで撮影を行う
A-4,B-4	高所などの危	<ul style="list-style-type: none"> 配管ラック上部にて A-1,B- 	<ul style="list-style-type: none"> ドローンの可視カメラで高所にあ

	<p>険箇所や仮設が必要な箇所における点検が可能か</p>	<p>1,A-2,B-2 の確認作業を行い、通常の見視点検と同程度の検査ができるか</p> <ul style="list-style-type: none"> 貯槽の上部にて A-1,B-1,A-2,B-2 の確認作業を行い、通常の見視点検と同程度の検査ができるか 	<p>る/危険箇所に設置されている設備を撮影し、その画像から点検担当者が通常の見視点検と同じレベルで外観見視検査・異常を判断できるか確認する</p>
A-5,B-5	<p>ドローンで撮影したデータをクラウド上に蓄積可能か</p>	<ul style="list-style-type: none"> ドローンで撮影した画像をクラウド上に蓄積できるか モバイルネットワーク回線経由の場合、クラウド上に自動で画像を伝送できるか 手動での画像データ蓄積を行う場合、SD カード経由でクラウド上に蓄積ができるか 	<ul style="list-style-type: none"> A-1,B-1,A-2,B-2 の実証で取得したデータを KDDI スマートドローンが保有するクラウド上にアップロード・蓄積できるか確認する。 モバイルネットワーク回線経由で画像データ蓄積を行う場合、KDDI 回線がオンライン（通信圏内）であることを確認した上で、撮影を実施しクラウド上に自動で画像を伝送できることを確認する。 手動での画像データ蓄積を行う場合、機体に蓄積されたデータを SD カード経由でコンピューターにコピーした上で、インターネット回線経由でクラウド上に蓄積を行う。その際はデータマネジメントシステム上のユーザーインターフェースを活用する。
A-6,B-6	<p>AI での画像解析、手動での点検結果登録ができるか</p>	<ul style="list-style-type: none"> クラウド上に蓄積した画像データを AI 解析して、錆・ひび、アナログメーターの指示値の読み取りが人間と同等のレベルで行えるか 解析結果の画像を表示できるか 錆・ひびは検出箇所が分かるよう表示されるか 点検結果に手動で点検結果（錆などのランク）や点検済みの登録ができるか 	<ul style="list-style-type: none"> A-5,B-5 でクラウド上に蓄積された画像データの AI 解析を行い、その結果から通常の見視点検と同じレベルで錆・ひびを検知できるあるいは、メーターの数値を読み取れるか確認する 解析結果の画像を表示できることを確認する。 錆・ひびは検出箇所に色やマーキングが施され解析結果が表示されていることを確認する。 表示されている点検結果に対

			し手動にて点検結果（錆などのランク）や点検済みであることの結果を登録する。
A-7,B-7	点検結果の管理が可能か	<ul style="list-style-type: none"> 複数の画像を任意の属性で管理できるか A-6,B-6にて設定した点検結果が確認できるか 	<ul style="list-style-type: none"> 複数の画像を設備毎、点検日毎などの属性にまとめて管理できるかを確認する A-6,B-6にて設定した点検結果が管理できることを確認する
C-1	適切なフライト高度の評価	<ul style="list-style-type: none"> 設備に危害が及ばないフライト高度に設定できるか 	<ul style="list-style-type: none"> 実証場所において、撮影する対象物とその対象物を安全に撮影するために必要な高度の仮説を立てる。 風速を測定し、記録する。 風速と高度から落下半径を計算する。 必要なフライト高度を決定し、C-2のフライトルートのインプット情報とする。
C-2	適切な飛行ルートの評価	<ul style="list-style-type: none"> C-1で決定した高度をもとに実際の点検で必要なルートを確定できるか 	<ul style="list-style-type: none"> C-1で決定した高度をもとに実際の点検で必要なルートを確定できるか確認する。 フライトルートは汎用的に飛行できることを証明するために複数パターンを設定できることを確認する。
C-3	ルートの再現性の評価	<ul style="list-style-type: none"> C-1,C-2にて設定した高度、ルートで複数回の自律飛行が可能か 撮影した画像データ間に目視検査に影響を与える程の画角差異が生まれるか 	<ul style="list-style-type: none"> C-1,C-2にて設定した高度・ルートを3回ずつ飛行させる 飛行ログから飛行ルート間の差分距離を確認する 撮影した画像データを確認し、対象物が撮影できているかを確認する。また、画像データ間にどの程度の画角差異があるかを確認する 画像データ間の画角差異が撮影画像からの異常検知やメーターの読み取りに影響しないかを確認する
D-1	自律飛行機	<ul style="list-style-type: none"> 自律飛行喪失時に墜落せ 	<ul style="list-style-type: none"> フライトルートを設定し自律飛

	能の喪失時に安全に帰還できるか	ず、マニュアル飛行に移行して、安全に帰還できるか	<p>行状態を設定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 自律飛行時にコントローラーより意図的に自律飛行の解除（喪失）のコマンドを送り、自律飛行機能を喪失させる。 ホバリングなどの状態になり、その後マニュアル飛行が可能であることを確認する。
D-2	バッテリー残量低下時に安全に帰還できるか	<ul style="list-style-type: none"> バッテリー残量が低下した際、それを検知し、運航者にバッテリー残量低下の通知がされるか さらにバッテリーが減少した際は自動的に離着陸地点などの指定場所へ移動し安全に着陸できるか 	<ul style="list-style-type: none"> バッテリー残量をホバリングなどの状態を維持することで意図的に減らしバッテリーが少ない状態を再現させ飛行を続ける。 バッテリー残量が低下した際、第一ステップとして運航者へのバッテリー残量低下の通知が行われることを確認する。 さらにバッテリーが減少した際は自動的に離着陸地点などの指定場所へ移動し安全に着陸できることを確認する。
D-3	障害物への衝突を防止し、安全に運航できるか	<ul style="list-style-type: none"> 自律飛行中に障害物に衝突しそうになった場合、それを検知し、自律飛行を解除してホバリングし、衝突を回避できるか 	<ul style="list-style-type: none"> フライトルートを作成し、フライトルート通りに飛行すると建物への衝突が発生する状況を作成する。 機体の安全センサー距離を設定し、一定以上障害物に接近すると機体が空中停止するように設定を行う。 実際にフライトルートを飛行させ、障害物へ接近させ、設定距離(3,5,8m)に近づいた際に自動的に機体の自律飛行が解除されホバリング状態になることを確認する。

3.1.2 構築したシステムの評価ポイント・方法

3.1.1 の各確認項目を踏まえ、下記の評価ポイント・方法を通じて本実証で活用した技術・システムによってガス事業者が実施する点検業務を代替できるかを評価する。

(1) 精度

(ア) 評価のポイント

デジタル技術を活用した代替手法が、現行の人手による目視点検で確認と同等以上の精度で実施可能であるかを確認する。

ドローンで撮影された画像から錆・ひびなどの異常やメーターリング作業に必要なメーターの値確認が目視での確認と同等のレベルで可能であるかを確認を行う。

撮影された画像を AI にて処理し、錆・ひびの検知が可能かの確認を行う。メーターに関しては、画像からメーター指示値を抽出できることを確認する。

(イ) 評価方法

錆やひび等の異常の見え方など人間が今まで現場で目視にて行っていた作業をドローンで撮影した画像を見て修繕が必要な程度の腐食か、アナログメーターの数値を判断できるかをガス事業者へ検証依頼し、実用が可能であるかを確認を行う。

AI での解析結果も同様に、人間が今まで現場にて目視で行い、修繕が必要と判断していたことが、解析結果でも十分に判断できているかをガス事業者へ検証依頼し、実用が可能であるかを確認を行う。AI 解析において誤検知、未検出が見られる箇所についても目視で確認し取りまとめる。

アナログメーターの読み取りは本実証にて取得したデータを活用し、AI 解析を通じて LP ガス事業者のメーターは小数点第 2 位まで、都市ガス事業者のメーターは記載の目盛の 1/10 まで読み取りが可能か検証を行う。(各基準値は各事業者から許容可能な誤差をヒアリングし設定。また地域・自治体で定める基準が異なり、さらに各事業者で必要に応じて基準を追加することから、事業者毎に基準値が異なる)

(2) 汎用性

(ア) 評価のポイント

国土交通省などの飛行マニュアル・ガイドラインに沿った上で、荒天時や強風時における就航率や地域性、市街地など申請の難易度などを鑑みて汎用性の高い技術であるかを評価する。

(イ) 評価方法

今回実証した事業者の事業所 3 カ所における就航率を気象庁及び各事業者が保有する過去のデータから算出して評価を行う。また、事業者へのヒアリングを行い汎用性についての検証を行う。

(3) 経済性

(ア) 評価のポイント

ドローンによる定期自主検査やその他の点検において、現行の人手による点検等と比較して経済的に優位かどうかを評価する。

(イ) 評価方法

定期自主点検や施設等の点検において、現状の人手による作業の時間の内、どの程度の割合が短縮できるかを確認し、金額に換算して算出する。また、機器の導入、運用コストを含め算出し、費用対効果を算出する。

(4) 安全性

(ア) 評価のポイント

ドローンが爆発、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、飛行の安全性を評価する。ドローンが危険エリアに侵入しないように指示通りに飛行可能かを評価する。また、工場内だけでなく、工場外部を含め、危害を及ぼすことがないかを確認する。

(イ) 評価方法

各ガス事業者とコードベースキミツで各 3 パターンのフライトルートを設定し、ドローンがルート通りに飛行し、飛行中に撮影した画像に点検対象が含まれない等、自律飛行の誤差によって撮影した画像を用いた点検に支障が生じないか検証する。

倒木などフライトルート上の予期せぬ障害物への衝突を回避できるか、バッテリー残量が低下した際に安全にホームポイントへ帰還できるかを検証する。

(5) 展開可能性

(ア) 評価のポイント

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を評価する。

(イ) 評価方法

今回の実証に類似する分野のデスクトップリサーチやエキスパートインタビューを行い、展開可能性について検証を行う。

高圧ガス、都市ガス関連の業界団体や今回実証した事業者にヒアリングを行い、今回対象の法令以外に他に実施している点検や設備の警備等ドローンの展開可能性について検証を行う。

3.2 結果及び評価・分析

3.2.1 構築したシステムの評価結果サマリー

本項においては各検証項目の評価結果のグランドサマリーを記載する。

評価結果の凡例：（確認項目に対して）○：現場に適用可能な結果が得られている △：業務への活用が一部可能又は検討が必要 ×：現時点では業務を代替することが困難

表 16 技術実証項目と確認項目、方法における結果一覧

検証項目	技術実証項目	確認項目	確認方法	評価結果サマリー	評価結果(事業者より)
A-1, B-1	錆やひびなどの不具合箇所を確認できるか	<ul style="list-style-type: none"> ガス事業者が実施する定期自主点検や施設等の点検に必要な画像を取得し、目視点検を人間と同等のレベルで行えるか 	<ul style="list-style-type: none"> ドローンの可視カメラで錆・ひびなどの腐食を撮影し、その画像から点検担当者が通常の見視点検と同じレベルで異常を判断できるか確認する ドローンのサーマルカメラで設備の面的な温度を撮影し、その画像から点検担当者がガス漏れ等の異常を判断可能か確認する 	<p>防爆エリア外からの画像による目視点検は通常の見視点検と同程度の十分な解像度にて行えることが検証できた。一方で他設備の陰に隠れるなど物理的にドローンにて撮影できない死角となる箇所も存在したため、飛行高度や撮影角度を変える等の考慮が必要であった。</p> <p>稼働中の設備において、異常な温度である設備が存在しなかったため、異常の判定は行えていないが、サーマルカメラを活用することで、設備の面的な温度を可視化が可能であったため、設備の温度異常を目視点検と同じレベルで</p>	<p>○</p> <p>※ 対象物によっては△</p>

				判断することが可能であると考えられる。	
A-2,B-2	巡視点検などにて必要なアナログメーターの読み込みは可能か	<ul style="list-style-type: none"> ガス事業者における設備の巡視点検を行う際に必要なアナログメーターの画像を取得し、その画像をみて正確な指示値の読み取りができるか 	<ul style="list-style-type: none"> ドローンの可視カメラでアナログメーターを撮影し、その画像から点検担当者が通常の見視点検と同じレベルで数値を読み取れるか確認する 	<p>防爆エリア外からメーターを正面かつ、ぶれずに撮影することで、その撮影画像を見て数値の読み取りが可能であることが確認できた。一方で撮影角度やメーターの向き調整などドローンで検査をするために適切な調整も検討が必要な箇所も存在した。</p>	○
A-3,B-3	ガス検知カメラを利用しプラント内のガス漏れを検知できるか	<ul style="list-style-type: none"> 操業状態におけるガス事業者の設備の画像を取得し、その画像からガス漏れを検知できるか 	<ul style="list-style-type: none"> ドローンのガス検知カメラでガス事業者の設備を撮影し、その画像から点検担当者が通常の見視点検と同じレベルでガス漏れに気付くことができるか確認する 実際のガス漏れが生じていない場合は高圧状態でのガス漏れ状態と低圧状態でのガス漏れ状態をそれぞれ意図的に再現し、ガス検知カメラで撮影を行う 	<p>ガス検知カメラを活用したが、A-3,B-3いずれもガス漏れが確認できなかったため、評価できなかった。一方で、LP ガス事業者の設備内において LP ガスを意図的に発生させることで、低圧のガスを含むメーターガスの検知（可視化）が可能であった。ただし微量のガス漏れに関しては変化量が小さいため漏れなく検知するためには画像解析などの手法を今後検討する必要がある。</p>	△
A-4,B-4	高所などの危険箇所や仮設が必要な箇所における点検が可能か	<ul style="list-style-type: none"> 配管ラック上部にて A-1,B-1,A-2,B-2 の確認作業を行い、通常の見視点検と同程度の検査ができるか 貯槽の上部にて A-1,B-1,A-2,B-2 の確認作業を 	<ul style="list-style-type: none"> ドローンの可視カメラで高所にある/危険箇所に設置されている設備を撮影し、その画像から点検担当者が通常の見視点検と同じレベルで外観目視検査・異常を判断できるか確認する 	<p>ドローンの可視カメラを活用することで防爆エリア外からでも、高所などの危険箇所の点検は、通常の外観目視点検と同程度の十分な解像度で行えることが確認できた。</p>	○

		行い、通常の目視点検と同程度の検査ができるか			
A-5,B-5	ドローンで撮影したデータをクラウド上に蓄積可能か	<ul style="list-style-type: none"> ドローンで撮影した画像をクラウド上に蓄積できるか モバイルネットワーク回線経由の場合、クラウド上に自動で画像を送信できるか 手動での画像データ蓄積を行う場合、SDカード経由でクラウド上に蓄積ができるか 	<ul style="list-style-type: none"> A-1,B-1,A-2,B-2の実証で取得したデータを KDDI スマートドローンが保有するクラウド上にアップロード・蓄積できるか確認する。 モバイルネットワーク回線経由で画像データ蓄積を行う場合、KDDI 回線がオンライン（通信圏内）であることを確認した上で、撮影を実施しクラウド上に自動で画像を送信できることを確認する。 手動での画像データ蓄積を行う場合、機体に蓄積されたデータを SD カード経由でコンピューターにコピーした上で、インターネット回線経由でクラウド上に蓄積を行う。その際はデータマネージメントシステム上のユーザーインターフェースを活用する。 	ドローンからの画像を自動又は手動（マニュアル）にて蓄積することが可能であった。	○
A-6,B-6	AI での画像解析、手動での点検結果登録ができるか	<ul style="list-style-type: none"> クラウド上に蓄積した画像データを AI 解析して、錆・ひび、アナログメーターの指示値の読み取りが人間と同等のレベルで行えるか 	<ul style="list-style-type: none"> A-5,B-5 でクラウド上に蓄積された画像データの AI 解析を行い、その結果から通常の目視点検と同じレベルで錆・ひびに気付くあるいは、メーターの数値を読み取れる 	今回用意した錆・ひびの検知 AI モデルはプラント向けに開発されたモデルではないため一定数の過検知、誤検知は見られたが、通常の目視点検と同じレベルで、修繕が必要な錆・ひびを検知	△

		<ul style="list-style-type: none"> 解析結果の画像を表示できるか 錆・ひびは検出箇所が分かるよう表示されるか 点検結果に手動で点検結果（錆などのランク）や点検済みの登録ができるか 	<ul style="list-style-type: none"> か確認する 解析結果の画像を表示できることを確認する。 錆・ひびは検出箇所に色やマーキングが施され解析結果が表示されていることを確認する。 表示されている点検結果に対し手動にて点検結果（錆などのランク）や点検済みであることの結果を登録する。 	<p>することが可能であった。メーターについては、正面かつピンボケせずに撮影することで、数値の読み取りが可能であった。一方、精度には撮影角度の影響が大きく、メーター自体の曇り除去等の対応も必要である。今後社会実装に向けた取り組みの際には追加学習の実施、撮影環境の検討を行うことで精度の向上が見込まれる。</p>	
A-7,B-7	点検結果の管理が可能か	<ul style="list-style-type: none"> 複数の画像を任意の属性で管理できるか A-6,B-6にて設定した点検結果が確認できるか 	<ul style="list-style-type: none"> 複数の画像を設備毎、点検日毎などの属性にまとめて管理できるかを確認する A-6,B-6にて設定した点検結果が確認できることを確認する 	<p>今回の実証で活用したデータマネジメントシステムにおいて撮影日箇所・撮影日毎に撮影データの管理を行えることが検証できた。また、A-6,B-6で設定した点検結果を確認することも検証できた。一方で自社システムとの連携などを希望する事業者も存在するため、今後は外部システムとの連携も検討する必要がある。</p>	○
C-1	適切なフライト高度の評価	<ul style="list-style-type: none"> 設備に危害が及ばないフライト高度に設定できるか 	<ul style="list-style-type: none"> 実証拠点において、撮影する対象物とその対象物を撮影するための高度の仮説を立てる。 風速を測定し、記録する。 風速と高度から落下半径を計算する。 	<p>概ね問題なく検査に必要な高度における飛行が可能であった。一方で下部からのぞき込む必要がある箇所なども存在するため、特にLPガス事業者の場合は風速によってはガスが地表付近に滞留する可能性を考慮しフライト高度</p>	△

			<ul style="list-style-type: none"> 必要なフライト高度を決定し、C-2 のフライトルートの入力情報とする。 	を設定する必要がある。	
C-2	適切な飛行ルートの評価	<ul style="list-style-type: none"> C-1 で決定した高度をもとに実際の点検に必要なルートを確定できるか 	<ul style="list-style-type: none"> C-1 で決定した高度をもとに実際の点検に必要なルートを確定できるか確認する。 フライトルートは汎用的に飛行できることを証明するために複数パターンを設定できることを確認する。 	今回の実証においては限定的なルートを複数構築し、問題なく飛行は可能であった。実際の運用においては 1 ルートでほぼ全ての設備の点検をさせるなど運用の負荷を下げる必要があるため設備の上空を通過するなどの検討が必要。	△
C-3	ルートの再現性の評価	<ul style="list-style-type: none"> C-1,C-2 にて設定した高度、ルートで複数回の自律飛行が可能か 撮影した画像データ間に目視検査に影響を与える程の画角差異が生まれるか 	<ul style="list-style-type: none"> C-1,C-2 にて設定した高度・ルートを 3 回ずつ飛行させる 飛行ログから飛行ルート間の差分距離を確認する 撮影した画像データを確認し、対象物が撮影できているかを確認する。また、画像データ間にどの程度の画角差異があるかを確認する 画像データ間の画角差異が撮影画像からの異常検知やメーターの読み取りに影響しないか確認する 	C-1,C-2 で設定した高度・ルートを各 3 回ずつ飛行させることができた。また、設定した飛行ルートとの差分は十分小さいため実用に耐え得るものであった。飛行中に撮影した画像データ間の画角の差異は小さく、どの回であっても通常の見点検と同じレベルで異常・メーターの読み取りが可能であったことが検証できた。	○
D-1	自律飛行機能の喪失時に安全に帰還できるか	<ul style="list-style-type: none"> 自律飛行喪失時に墜落せず、マニュアル飛行に移行して、安全に帰還できるか 	<ul style="list-style-type: none"> フライトルートを設定し自律飛行状態を設定する。 自律飛行時にコントローラーより意図的に自律飛行の解除（喪失） 	自律飛行機能が喪失した際も問題なく機体は安全な飛行状態(ホバリング)を維持し、さらにマニュアル飛行も問題なく切り替え、安全にホームポイントに	○

			<p>失) のコマンドを送り、自律飛行機能を喪失させる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ホバリングなどの状態になり、その後マニュアル飛行が可能であることを確認する。 	<p>帰還できた。</p>	
D-2	<p>バッテリー残量低下時に安全に帰還できるか</p>	<ul style="list-style-type: none"> バッテリー残量が低下した際、それを検知し、運航者にバッテリー残量低下の通知がされるか さらにバッテリーが減少した際は自動的に離着陸地点などの指定場所へ移動し安全に着陸できるか 	<ul style="list-style-type: none"> バッテリー残量をホバリングなどの状態を維持することで意図的に減らしバッテリーが少ない状態を再現させ飛行を続ける。 バッテリー残量が低下した際、第一ステップとして運航者へのバッテリー残量低下の通知が行われることを確認する。 さらにバッテリーが減少した際は自動的に離着陸地点などの指定場所へ移動し安全に着陸できることを確認する。 	<p>バッテリー残量低下時、運航者に通知がされ、ホームポイントへの帰還も自動的に動作したため、問題なく運用が可能であることが検証できた。</p>	○
D-3	<p>障害物への衝突を防止し、安全に運航できるか</p>	<ul style="list-style-type: none"> 自律飛行中に障害物に衝突しそうになった場合、それを検知し、自律飛行を解除してホバリングし、衝突を回避できるか 	<ul style="list-style-type: none"> フライトルートを作成し、フライトルート通りに飛行すると建物への衝突が発生する状況を作成する。 機体の安全センサー距離を設定し、一定以上障害物に接近すると機体が空中停止するように設定を行う。 実際にフライトルートを飛行させ、 	<p>障害物に接近させたところいずれの設定距離でも、自動的に機体の自律飛行が解除されホバリング状態になったことから、衝突防止の機能は十分に動作し、安全に飛行ができることが検証された。今後はワイヤーなどのドローン機体によっては検知が難しい障害物の確認が必要。</p>	○

			障害物へ接近させ、設定距離(3,5,8m)に近づいた際に自動的に機体の自律飛行が解除されホバリング状態になることを確認する。		
--	--	--	--	--	--

3.2.2 構築したシステムの評価結果詳細

本項においては 3.1.1 項に記載した検証サマリーの検証項目毎の詳細について検証結果を記載する。

(1) 検証項目 A-1,B-1：錆やひびなどの不具合箇所を確認できるか

(ア) 検証項目 A-1 山梨流通株式会社 都留事業所、田富事業所

ドローンの可視カメラを用いて錆やひび等の異常を撮影し、撮影した画像をもとに目視点検ができるか、通常の見視点検と同じレベルで異常を判断できるかを確認した。

① LPG 貯槽

都留事業所の LPG 貯槽をドローンの可視カメラにて、錆やひびなど安全に関わる異常を人が見ることが困難な貯槽上部を中心にズーム倍率や撮影角度を変更しながら検証を行ったが、通常の見視検査と同様、ドローンの可視カメラでも錆は確認できなかった。一方で塗装の剥がれや汚れなどの緊急度を要するわけではないが修繕が必要な異常を確認することができた。また貯槽全体について、ドローンの可視カメラにて約 5 倍のズームかつ高度 10m からカメラを下 15 度に傾け撮影することで、通常の見視点検と同じレベルで異常を判断できる画像の取得が可能であった。



図 50 LPG 貯槽の上部の撮影結果(左側:全景、右側:拡大図)

田富事業所の LPG 貯槽をドローンの可視カメラにて、約 20 倍のズームかつ高度約 3m からカメラを正面から撮影することで、通常の見視点検と同じレベルで判断できる解像度で貯槽の基礎部分の錆の撮影が可能であった。



図 51 LPG 貯槽の基礎部分の錆の撮影結果(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

都留事業所の LPG 貯槽の基礎存在する軽度のひびについても、ドローンの可視カメラにて約 40 倍のズームかつ撮影角度を下 45 度に傾け、基礎部の斜め 45 度から撮影したことで、通常の目視点検と同じレベルで判断できる解像度で貯槽の基礎部分のひびの撮影が可能であった。



図 52 LPG 貯槽の基礎部分のひびの撮影結果(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

また、サーマルカメラにて撮影を行ったところ、設備における温度が可視化できた。貯槽の金属部分と貯槽内の LPG の温度差により、内部に溜まっている液量の確認も可能であった。ガスの噴出などがあつた場合は気化熱により温度が異常に低くなる等の事象が確認できることが想定されるが、今回の実証においては有意な温度異常を確認することはできなかった。



図 53 LPG 貯槽のサーマルカメラでの撮影結果(矢印までがタンク内の液量)

事前に人手による目視点検も行った結果、全体的に錆等の腐食が少なかったこともあり、ドローンでの点検と人手による目視点検で得られた錆の検知数は同様であった。本実証を行った事業所においては、錆がある箇所について、最大約 40 倍のズーム、撮影角度を最大カメラ下 80 度程度まで傾け撮影することで、通常の目視点検と同じレベルで判断できる解像度で腐食の確認が可能であった。

② 配管

都留事業所の配管をドローンの可視カメラにて、10 倍のズームかつ、高度約 4 メートルかつ、撮影角度をカメラ下 20 度に傾け、右斜め 30 度から撮影することで、通常の目視点検と同じレベルで判断できる解像度で地上に設置された配管の錆の撮影が可能であった。



図 54 配管の錆の撮影結果(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

田富事業所の配管においてもドローンの可視カメラにて、20 倍のズームかつ、高度約 10 メートルかつ、撮影角度をカメラ下 30~45 度に傾け、正面から撮影することで、通常の目視点検と同じレベルで判断できる解像度で錆を発見することが可能であった。しかし、一部、貯槽の真下に設置されている配管については他の高度や角度に変更しても死角となる箇所があった。



図 55 配管の錆の撮影結果(田富事業所 左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

配管においては現状把握できているひびがないため対象外とした。

都留事業所の配管周辺をサーマルカメラで撮影を行ったところ、設備における温度が可視化できた。実証時には異常は見られなかったが、配管からガスが漏れている場合はガスの気化に伴い、色が黒くなること(温度低下)が想定される。

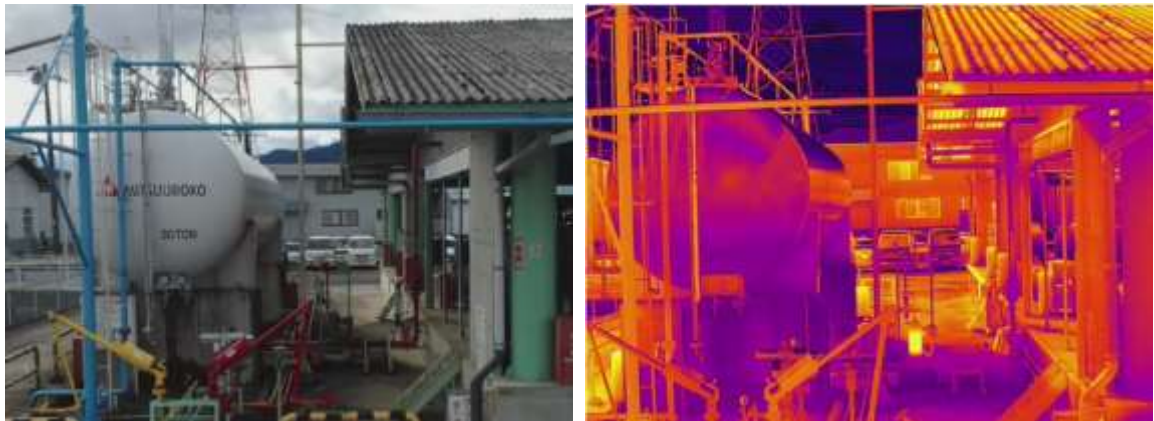


図 56 配管付近のサーマルカメラでの撮影結果

配管については、設備が密集していたため、他の設備の陰になり物理的にドローンでの撮影が難しい箇所があったが、遮蔽物の無い箇所は、通常の見視点検と同じレベルで判断できる解像度で錆等の腐食の撮影が可能であることが確認できた。例えば、LPG 貯槽が並ぶ場合や建物と隣接して LPG 貯槽が設置されていた箇所については、LPG 貯槽や建物の陰に隠れてしまい、角度や高度を変更してもドローンで撮影ができなかった（図 57 参照）。今後、ドローンでの見視点検の運用を推進する際は、死角箇所への対応方法を検討する必要がある。



図 57 ドローンによる撮影が難しい点検箇所の例
(手前と奥のコンクリート基礎の間にある配管が、手前の基礎の陰になっている)

③ 充てん機

都留事業所と田富事業所の屋内に設置されている LP ガスボンベ充てん機を可視カメラにて撮影した。特に回転部分などの可動部をターゲットに、高度約 2 メートルにて 30 倍のズームかつ、撮影角度をカメラ上 10～30 度に傾け撮影することで、通常の見視点検と同じレベルでの錆の確認が可能であった。建物内ですぐ真横が壁であったが、充てんのために運転時は回転するため、正面と裏側だけでなく、充てん機全体も、通常の見視点検と同じレベルで判断できる解像度での撮影が可能であることも確認できた。



図 58 充てん機の錆撮影結果(田富事業所 左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)



図 59 充てん機の回転部分（スイベル）の撮影結果
(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

また、サーマルカメラにて撮影を行ったところ、設備における温度が可視化できた。実証時には異常は見られなかったが、充てん機の回転部分のベアリングのこすり合いにより、色がより濃い黄色になること(温度上昇)が想定される。



図 60 充てん機付近をサーマルカメラで撮影した結果

建物の中かつ他設備との距離も近い位置に設置されていたが、充てん機の稼働中は回転するため側面の目視点検も通常の見点検と同じレベルの解像度で撮影が可能であることが確認できた。また、屋根の裏側に近い充てん機の上部についても、通常の見点検と同じレベルで判断できる解像度で撮影が可能であることが確認できた。

④ ローディングアーム

都留事業所のローディングアームについて、高度約 1.5 メートル、10 倍のズーム、かつ撮影角度をカメラ正面にして撮影することで、通常の見視点検と同程度の十分な解像度で錆の撮影が可能であった。



図 61 ローディングアームの接合部分の錆の撮影結果
(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

田富事業所のローディングアームについても、ドローンの可視カメラにて、20 倍のズームかつ、高度約 3 メートルかつ、撮影角度をカメラ下 15~25 度に傾け、左斜め 20~30 度から撮影することで、通常の見視点検と同程度の十分な解像度で錆の撮影が可能であった。



図 62 ローディングアームにおける錆の撮影結果(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

ローディングアームにおいては現状把握できているひびがないため、ひびの撮影は対象外とした。

都留事業所の稼働していないローディングアーム周辺をサーマルカメラで撮影を行ったところ、設備における温度が可視化できた。実証時には異常は見られなかったが、ローディングアームからガスが漏れている場合はガスの気化に伴い、特に先端部分の色が黒くなること(温度低下)が想定される。



図 63 ローディングアームのサーマルカメラでの撮影結果

ローディングアームは LPG を供給/受給する施設のため、トラックの停車が可能な箇所に設置されている。そのため、トラックの停車がない時間帯にドローンで撮影することで、他施設と重なり、陰に隠れるなど死角箇所は無く、全体の撮影が可能であることが確認でき、通常の見視点検と同程度の十分な解像度で錆の撮影が可能であった。

⑤ 圧縮機

都留事業所の圧縮機について、ドローンカメラにて、高度約 5 メートルにて 20 倍のズームかつ、撮影角度をカメラ下 45 度に傾け、左斜め 20 度から撮影することで、通常の見視点検と同程度の十分な解像度で錆の撮影が可能であった。



図 64 圧縮機の錆の撮影結果(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

一方、田富事業所の圧縮機においては、通常の見視点検と同じく、錆等の腐食は見当たらなかった。また、建物がある側面については、高度を、他施設を超える 3m や撮影位置を正面だけでなく左右斜め約 20～30 度に変更、カメラを下 10～60 度にして撮影を試みたが、他施設の陰に隠れるなどして、物理的に撮影ができない箇所があった。



図 65 圧縮機の下部の撮影結果(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

都留事業所の圧縮機サーマルカメラで撮影を行ったところ、設備における温度が可視化できた。実証時には異常は見られなかったが、圧縮機の異常時には、モーター付近(右側の白丸箇所)の色が濃い黄色(温度上昇)になることが想定される。

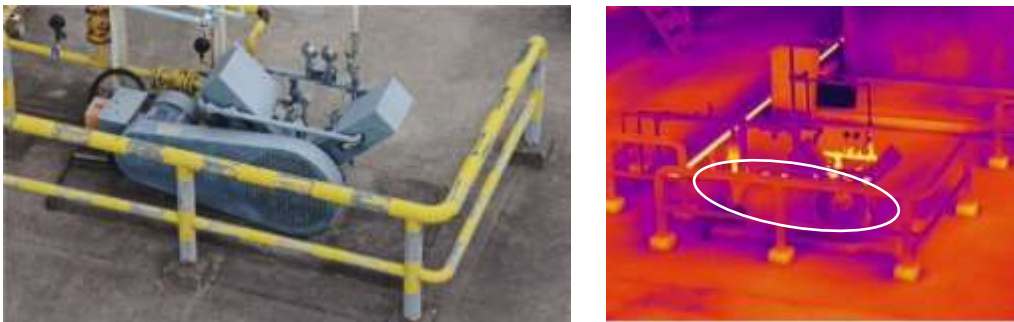


図 66 圧縮機のサーマルカメラでの撮影結果（白丸箇所はモーター部分）

都留事業所の圧縮機は比較的他施設と離れた場所に設置されていたため、全方位の目視点検が可能であったが、田富事業所の圧縮機は建物に近い位置に設置されていたため、他の設備が物理的な障害となり、ドローンでの目視点検ができない箇所もあった。今後、ドローンでの目視点検の運用を推進する際は、配管と同様、死角箇所への対応方法を検討する必要がある。

(イ) 検証項目 B-1 ひびき LNG 基地

ドローンカメラを用いて錆やひび等の異常を撮影し、撮影した画像をもとに目視検査ができるかを確認した。

① 液化ガス用貯槽(LNG 貯槽)

上部における設備について、ドローンカメラにて、60 倍のズームかつ、高度約 65 メートルかつにして撮影することで、通常の見視点検と同じレベルで判断できる解像度で錆の撮影が可能であった。



図 67 LNG 貯槽の上部の錆の撮影結果(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

足場についても、60 倍のズームかつ、高度約 60 メートルかつ、カメラを下 45 度に傾け撮影することで、通常の見視点検と同じレベルで判断できる解像度で、軽度な錆も捉えることが可能であった。



図 68 LNG 貯槽の足場付近の錆の撮影結果(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

足場を組まなければ確認できないような貯槽壁面についても 30-50 倍のズームで正面から撮影することで、通常の見視点検と同じレベルで判断できる解像度で、軽度なひびも捉えることが可能であった。



図 69 LNG 貯槽の側面のひびの撮影結果(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

また、貯槽の上部をサーマルカメラにて撮影を行ったところ、設備における温度が可視化できた。実証時には異常は見られなかったが、LNG 貯槽からガスが漏れている場合はガスの気化に伴い、色が黒くなること(温度低下)が想定される。

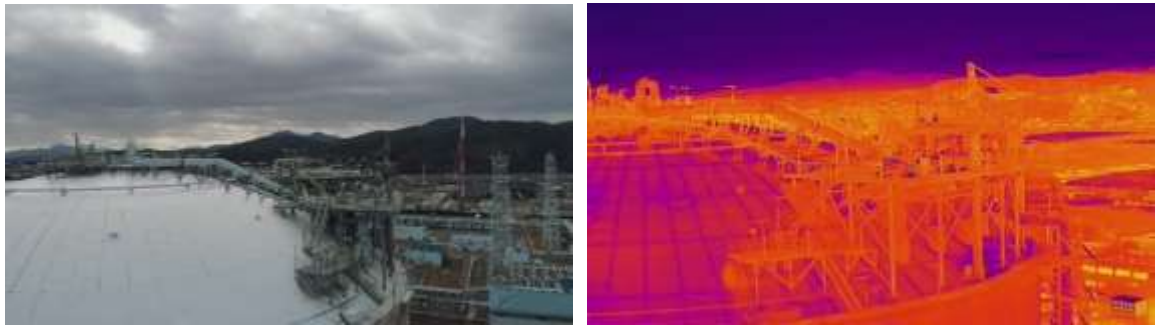


図 70 LNG 貯槽の上部のサーマルカメラでの撮影結果

LNG 貯槽の周囲かつ防爆エリア外をドローンで一周飛行させることにより、カメラで撮影可能な範囲で LNG 貯槽の目視検査に資する空撮が可能であった。さらに通常/普段の目視点検では難しい、貯槽壁面の目視点検を確認することができた。また、異常の判定には活用していないが、設備の温度を可視化することができた。

② LPG 貯槽

貯槽下部について、ドローンカメラにて、高度約 10 メートルにて 50 倍のズーム、かつカメラを下 10 度に傾け撮影することで、通常の見視点検と同じレベルで判断できる解像度で、錆の撮影が可能であった。



図 71 LPG 貯槽の配管部分の錆の撮影結果(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

貯槽上部についても、50 倍のズームで撮影することで、通常の見視点検と同じレベルで判断できる解像度で、錆の撮影が可能であった。



図 72 LPG 貯槽の上部の撮影結果(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

貯槽の基礎部分についても、40 倍のズームにて撮影することで、通常の目視点検と同じレベルで判断できる解像度で、錆の撮影が可能であった。



図 73 LPG 貯槽の基礎部分のひびの撮影結果(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

また、サーマルカメラにて撮影を行ったところ、設備における温度が可視化できた。貯槽タンクと LPG の温度差により、内部に溜まっている液量の確認も可能であった。実証時には異常は見られなかったが、LPG 貯槽からガスが漏れている場合はガスの気化に伴い、色が黒くなること(温度低下)が想定される。

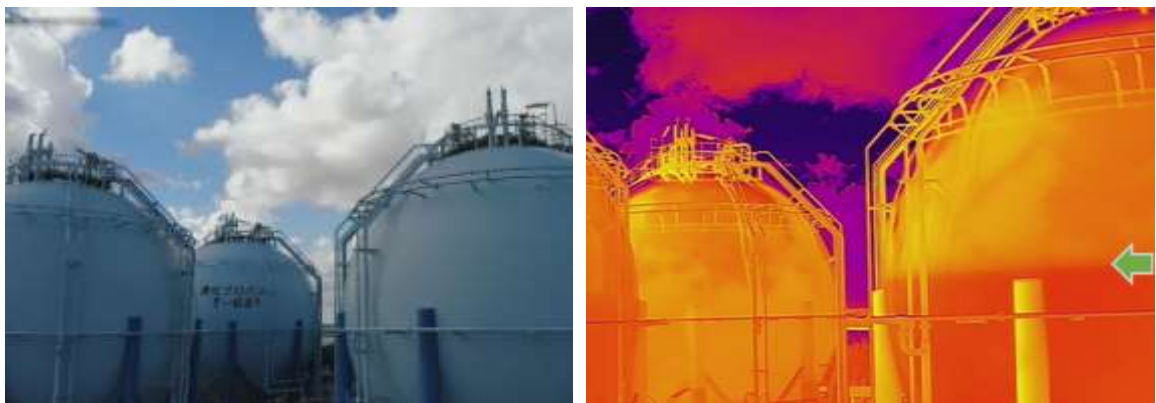


図 74 LPG 貯槽のサーマルカメラでの撮影結果(矢印までがタンク内の液量)

LPG 貯槽も LNG 貯槽と同様、周囲かつ防爆エリア外をドローンで一周飛行させ、10m 以上離れた位置から、2~50 倍のズームかつ、高度約 1~30 メートルかつ、カメラを上下左右 60 度程度に傾け撮影することで通常の目視点検と同じレベルでの解像度で LNG 貯槽の腐食の撮影が可能であった。さらに、貯槽内の液量も確認できた。

③ LNG 気化器

流水付近について、ドローンカメラにて、高度約 15 メートルにて 20-30 倍のズームにて、カメラを下 45-80 度に傾け撮影することで、通常の目視点検と同じレベルで判断できる解像度で、錆の撮影が可能であった。



図 75 LNG 気化器の正面の錆の撮影結果
(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図、橙色丸箇所は流水部分)

また、上部においても 5 倍のズームかつ、高度約 25 メートルかつ、カメラを下 45-80 度に傾け撮影することで、通常の見視点検と同じレベルで判断できる解像度で、錆を捉えることが可能であった。



図 76 LNG 気化器の上部の錆の撮影結果(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

LNG 気化器において、ひび割れする可能性が高い側面等の箇所を中心に検証を行ったが、ドローンカメラにて検知できるレベルのひび割れは確認できなかった。

また、サーマルカメラにて撮影を行ったところ、正面から見える範囲では、表面の温度は高い一方、熱を冷ますための流水部分は温度が低いことを確認できた。実証時には異常は見られなかったが、流水が止まっている場合表面温度が上昇し、前面の青い板部分と同じ色になることが想定される。

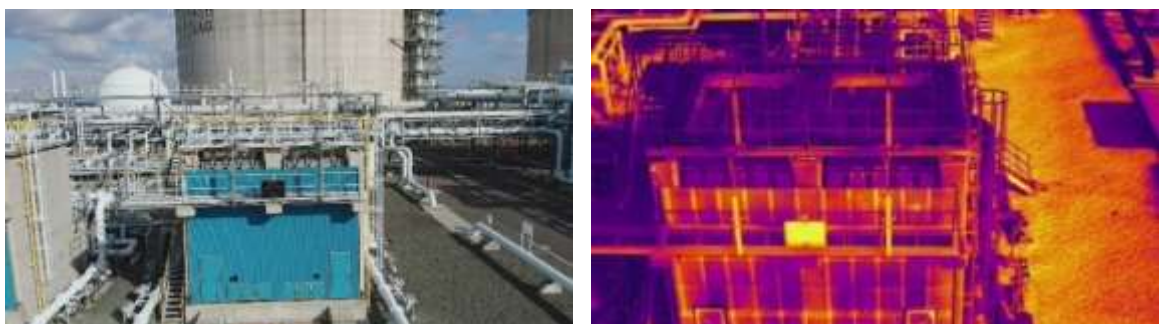


図 77 LNG 気化器のサーマルカメラでの撮影結果

LNG 気化器は防爆エリアを考慮し、正面からの撮影を行ったところ、点検が必要な流水付近(図 75 参照)について、パネルへの散水は確認できたが、画角上死角となる箇所があり、適切に散水できているか迄は確認できなかった。

④ LPG 増熱器

LPG 増熱器について、防爆エリア外の間配管が通っていたため、高度を配管よりも高くする(高度約 15 メートル) かつ、30-50 倍のズームかつ、撮影角度をカメラ下 50 度に傾け、正面から撮影することで、通常の目視点検と同じレベルで判断できる解像度で、錆を捉えることが可能であった。



図 78 LPG 増熱器の錆の撮影結果(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

手前に配置されている設備について、ドローンカメラにて、20-30 倍のズームかつ、高度約 1.5 メートルかつ、カメラを正面にして撮影することで、通常の目視点検と同じレベルで判断できる解像度で、錆の撮影が可能であった。



図 79 LPG 増熱器の手前側の錆の撮影結果(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

LPG 増熱器において、基礎の部分等の箇所を中心に検証を行ったが、ドローンの可視カメラにて検知できるレベルのひび割れは確認できなかった。

また、サーマルカメラにて撮影を行ったところ、設備における温度が可視化できた。実証時には異常は見られなかったが、増熱器からガスが漏れている場合はガスの気化に伴い、色が黒くなること(温度低下)が想定される。



図 80 LPG 増熱器のサーマルカメラでの撮影結果

LPG 増熱器は LNG 気化器同様、防爆エリアを考慮し、正面からの撮影及び配管を跨いでの撮影であったが、通常の見視点検と同じレベルで判断できる解像度で、腐食の撮影が可能であった。

⑤ 配管ラック

配管を支えるラックと配管とそれらの接合部分について、ドローンカメラにて、30-50 倍のズームかつ、高度約 15 メートルかつ、カメラを下 10 度に傾け撮影することで、通常の見視点検と同じレベルで判断できる解像度で、錆の撮影が可能であった。



図 81 配管ラックと配管の錆の撮影結果 1(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)



図 82 配管ラックと配管の錆の撮影結果 2(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

配管ラックにおいて、保冷の損傷する可能性が高い、重度の錆がある箇所や配管同士の接合部分等を中心に検証を行ったが、ドローンカメラにて検知できるレベルの保冷の損傷は確認できなかった。

また、サーマルカメラにて撮影を行ったところ、設備における温度が可視化できた。実証時には異常は見られなかったが、配管からガスが漏れている場合はガスの気化に伴い、色が黒くなること(温度低下)が想定される。

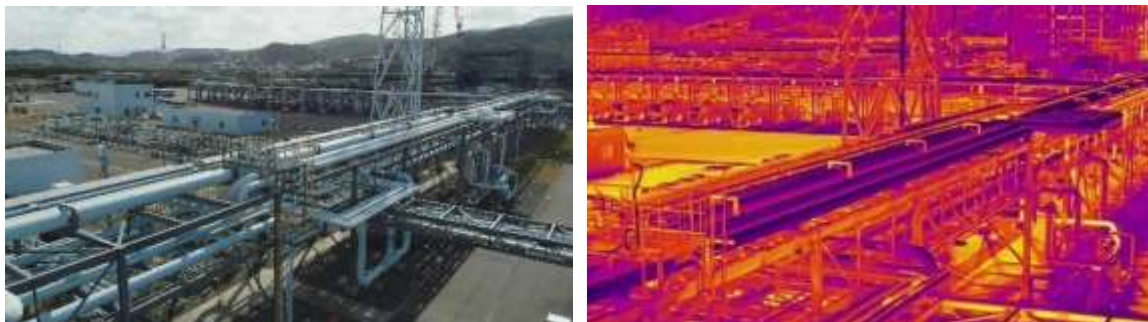


図 83 配管ラックと配管のサーマルカメラでの撮影結果

配管ラックと配管は、敷地内に張り巡らされており、配管の上を飛行しないよう、複数回に分けてドローンを飛行させる必要があったが、仮設の足場を組まずとも、ドローンカメラのズームや撮影角度を変更することによって目視検査が可能であった。またサーマルカメラにて実際に設備に流れる液体の温度を可視化することができた。温度差が可視化できたことで、ガスの漏えいについても可視化できる可能性がある。

(ウ) 検証項目のまとめ

防爆エリア外で設備から 10m 以上離れた状態でドローンを飛行させ、ズームカメラや高度、撮影角度の変更を実施することで、通常の見点検と同じレベルで判断できる解像度で錆やひび等の腐食の目視検査を行えることが確認できた。活用するドローンは、撮影対象物よりも高い、今回だと 60m 以上高く飛行できること、最大 50 倍程度のズーム、直下及び上に 30 度程度方向を変更できるカメラで実施できることが望ましい。一方で、対象施設の設置位置によっては、他施設と近距離に設置されているなど、物理的に死角になり、ドローンでの撮影が困難である箇所も存在した。そのため、本実証でドローンでの撮影が困難であった箇所においては、今後運用していく上でドローンの撮影位置・角度の調整や他の点検手法の適用等の対応方針の検討が必要である。

(2) 検証項目 A-2,B-2：巡視点検などにて必要なアナログメーターの読み込みは可能か

(ア) 検証項目 A-2 山梨流通株式会社 都留事業所、田富事業所

ドローンカメラを用いてメーターを撮影し、撮影した画像をもとに目視検査ができるかを確認した。

① LPG 貯槽

都留事業所のアナログメーターをズームカメラで撮影したが、ガラスの蓋部分が曇っており、メーター上の数値と針の存在は確認できるが、実際にいくつを指しているか、までの確認は難しかった。



図 84 LPG 貯槽の前面のメーターの撮影結果(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

田富事業所の LPG 貯槽の液面計について、ドローンカメラにて、20 倍のズームかつ、高度約 2~5 メートルかつ、正面から撮影することで、写真上でも通常の目視点検と同じレベルでメーターと印を捉えることが可能であった。



図 85 LPG 貯槽の液面計の撮影結果(矢印までが液量)
(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

LPG 貯槽に設置されているメーターにおいて、液面計は問題なく、通常の目視点検と同じレベルで数値を捉えることが可能であったが、貯槽前面のメーターは曇っていたため、数値の読み取りができなかった。今後、ドローンでの目視点検を運用していく場合、メーターの数値が十分読み取れるよう、ガラスの蓋部分を綺麗に保つ方法を検討する必要がある。

② 配管

都留事業所の LPG 貯槽近くの配管に設置されているアナログメーターについて、ドローンカメラにて、約 20 倍のズームかつ、高度約 8 メートルかつ、正面から撮影することで、通常の目視点検と同じレベルで判断できる解像度で、メーター上の数値と針を捉えることが可能であった。



図 86 配管に設置されているメーターの撮影結果(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

田富事業所の配管も奥側に設置されている複数のメーターについても、ドローンカメラにて、高度約 7 メートルにて 30 倍のズームかつ、カメラを下 15 度に傾け撮影することで、どちらも焦点がぶれることなく、通常の見視点検と同じレベルで判断できる解像度で、数値と針を捉えることが可能であった。

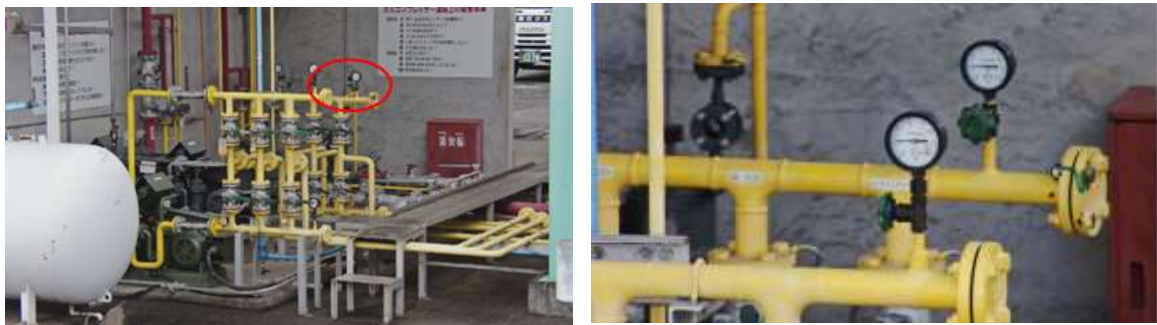


図 87 配管に設置されている複数メーターの撮影結果
(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

配管に設置されているメーターについても、ドローンカメラにて、高度約 7 メートル、約 10 - 30 倍のズームかつ、カメラを下 15 - 30 度に傾け撮影することで、通常の見視点検と同じレベルで判断できる解像度で数値を読み取ることが可能であった。今回、メーターはドローンカメラで撮影できる角度に設置されていたため全て、捉えることができたが、他事業所で後ろや下を向いているメーターがあった場合は、考慮が必要である。

③ ローディングアーム

田富事業所のローディングアーム近くに設置されている、LPG 貯蔵からバルクローリーへ払いだす際の流量計についても、ドローンカメラにて、高度約 5 メートルにて、20 倍のズームかつ、カメラを下 15 度に傾け、左斜め 40 度から撮影したが、斜めからの撮影をしたため、針の位置は捉えられたが、指している先の数値がぼやけてしまった。



図 88 ローディングアーム付近に設置されている流量計の撮影結果
(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

メーターを斜め前から撮影すると、指している数値がぼやけてしまい、読み取ることができないことが分かった。②配管設備での実証結果の通り、真正面からズームして撮影することで数値の読み取りができる可能性が高い。

④ 圧縮機

都留事業所の圧縮機に設置されているメーターについても、ドローンカメラにて、20 倍のズームかつ、高度約 7 メートルかつ、カメラを下 40 度に傾け、左斜め 30 度から撮影したが、斜め上から撮影したことで、針の位置は捉えられたが、指している先の数値が一部ぼやけてしまった。



図 89 圧縮機に設置されているメーターの斜め上からの撮影結果
(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

田富事業所の圧縮機に設置されているアナログメーターについて、ドローンカメラにて、30 倍のズームかつ、高度約 5 メートルかつ、カメラを下 5 度に傾け、正面から撮影することで、通常の見視点検と同じレベルで判断できる解像度で、2 つのメーターどちらも数値と針を捉えることが可能であった。



図 90 圧縮機に設置されているメーターの正面からの撮影結果
(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

こちらローディングアーム同様に、メーターを斜め前から撮影することで、指している数値がぼやけ読み取ることができないことが分かった。しかし、真正面からズームして撮影することで通常の見視点検と同じレベルで数値の読み取りができたため、ドローンでの運用をしていく場合は、撮影角度を正面に調整することでメーターの読み取りが可能であることが確認できた。

(イ) 検証項目 B-2 ひびき LNG 基地

ドローンカメラを用いてメーターを撮影し、撮影した画像をもとに目視検査ができるかを確認した。

① 液化ガス用貯槽(LNG 貯槽)

上部に設置されているアナログメーターについて、ドローンカメラにて、50 倍のズームかつ、高度約 70 メートルかつ、カメラを下 30 度に傾け撮影することで、通常の見視点検と同じレベルで判断できる解像度で、メーター上の数値と針を捉えることが可能であった。



図 91 LNG 貯槽上部に設置されているメーターの撮影結果
(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

デジタルメーターも DCS(分散制御システム)と連携されており、通常の見視点検でも直接の読み取りは必須ではないが、ドローンカメラにて、50 倍のズームかつ、高度約 50 メートルかつ、カメラを正面にして撮影することで、通常の見視点検と同じレベルで判断できる解像度で、表示されている数値捉えることが可能であった。



図 92 LNG 貯槽上部に設置されているデジタルメーターの撮影結果
(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

LNG 貯槽に設置されているメーターにおいて、アナログ及びデジタルメーターもズームカメラによって通常の目視点検と同じレベルで数値の読み取りができるまでの撮影が可能であったため、LNG 貯槽に設置されているメーターの読み取りもドローンで可能であることが確認できた。

② 液化ガス用貯槽(LPG 貯槽)

貯槽下部の入り組んだ箇所に設置されているアナログメーターについて、ドローンの可視カメラにて、高度約 2~5 メートル、30 倍のズームかつ、カメラを下 15~40 度に傾け、正面から撮影することで、通常の目視点検と同じレベルで判断できる解像度で、メーター上の数値と針を捉えることが可能であった。



図 93 LPG 貯槽の下部に設置されているメーターの撮影結果
(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

LPG 貯槽のメーターは入り組んだ箇所に設置されているが、高度を低くして飛行し、ズームカメラによって目視で読み取れた。よって、LPG 貯槽に設置されているメーターの読み取りも通常の目視点検と同じレベルで数値の読み取りができるまでの撮影が可能であることが確認できた。

③ ガス発生設備(LNG 気化器)

LNG 気化器の裏に設置されていたデジタルメーターについて、ドローンの可視カメラにて、60 倍のズームかつ、高度約 25 メートルかつ、カメラを下 50 度に傾け、右斜め 30 度から撮影し、数値の読み取りを検証した。指示値は太陽の当たり具合から逆光で画面が反射し、読み取ることができなかった。アナログメーターはドローンにて確認可能かつ防爆エリア内の設置が

無かった。



図 94 LNG 気化器に設置されているデジタルメーターの撮影結果
(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

ドローンで確認可能な位置に設置されていたデジタルメーターの読み取りは難しかった。しかし、逆光にならない時間に目視点検を実施することで、通常の見視点検と同じレベルでメーターの数値読み取りができる可能性がある。

④ ガス発生設備(LPG 増熱器)

LPG 増熱器に設置されているアナログメーターについても、ドローンカメラにて、50 倍のズームかつ、高度約 3 メートルかつ、正面から撮影することで、通常の見視点検と同じレベルで判断できる解像度で、メーター上の数値と針を捉えることが可能であった。



図 95 LPG 増熱器に設置されているメーターの撮影結果 1
(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)



図 96 LPG 増熱器に設置されているメーターの撮影結果 2
(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

一方、正面を向いていないメーターにおいては、他の設備に重なる等、角度や指している数値によって正しい数値が読み取れなかった。



図 97 LPG 増熱器に設置されているメーターの撮影結果 3
(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

デジタルメーターは DCS と連携されているものの、ドローンカメラにて、50 倍のズームかつ、高度約 3 メートルかつ、カメラの上下傾き無し、左斜め 30 度から撮影することで、通常の目視点検と同じレベルで判断できる解像度で、表示されている数値まで捉えることが可能であった。



図 98 LPG 増熱器に設置されているデジタルメーターの撮影結果
(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

LPG 増熱器に設置されているメーターにおいて、アナログ及びデジタルメーターもズームカメラによって目視で読み取れる程度までの撮影が可能であることが確認できた。しかし、入り組んだ箇所に設置されたメーターや正面を向いていないメーターを斜め上から撮影すると、ぼやける場合や、針がメーターの淵に隠れて見えない場合も存在したため、今後、ドローンでの検査を運用するにはメーターの向きを調整するなど、検討が必要である。

(ウ) 検証項目のまとめ

防爆エリア外でドローンを飛行させ、ズームカメラや高度、撮影角度の変更を実施することで、メーターの読み取りも十分な解像度で数値の読み取りが可能であることが確認できた。活用するドローンは、撮影対象のメーターと同じ高さから 1m 以上高く飛行できること、ズームも 50 倍以上できるカメラで実施できることが望ましい。一方で、メーターが下向きに設置されている、もしくは近距離にある別設備方面に向いている場合、メーターのガラスの蓋が曇っている/汚れている

る場合等で物理的にドローンでの撮影では十分に数値の読み取りができない箇所も存在した。そのため、本実証でドローンでの撮影による数値の読み取りが困難であった箇所においては、今後運用していく上で撮影の角度や高さ、メーター位置等の適切な調整が必要である。

(3) 検証項目 A-3,B-3：ガス検知カメラを利用しプラント内のガス漏れを検知できるか

(ア) 検証項目 A-3 山梨流通株式会社 都留事業所、田富事業所

都留事業所及び田富事業所においては稼働中の設備のガス漏えいを確認することはできなかった。そのため都留事業所においては試験用設備において LP ガスメーターの出口側（図 95）から微量のガス漏れを発生させその様子をドローン搭載のガス検知カメラにて撮影し、ガスを検知（黒いもやのようにガスが撮像できる）することが可能であった。



図 99 マイコンメーター（ガスメーター）のイメージ

(LP ガスメーター マイコンメーター-S 製品情報・東洋計器株式会社・閲覧日 2024/02/16・
<https://www.toyo-keiki.co.jp/product/lpgas/meter/s.html>)



図 100 ガスメーターから（左）ガスを漏えいさせる前（右）ガスを漏えいさせた後

田富事業所においては高圧ガスの漏えい状態の確認を実施した。安全を確保した上で LP ガスボンベから直接ガスを漏えいさせ、10m 以上離れた遠方からドローン搭載のガス検知カメラにて撮影を行った。ガスの漏えい前と比較するとガスの漏えい後は黒いもやを捉えられ、ガス漏れ

が起きていることが確認できた。



図 101 LP ガスボンベから（左）ガスを漏えいさせる前（右）ガスを漏えいさせた後

(イ) 検証項目 B-3 ひびき LNG 基地

ひびき LNG 基地においては LPG 貯槽や熱調整設備、LPG 気化器など箇所を中心にガス検知カメラの検証を行ったが、ガス漏れがなかったため、ガス検知カメラにおける検証はできなかった。



図 102 ひびき LNG 基地におけるガス検知カメラでの撮影の様子

(ウ) 検証項目のまとめ

山梨流通株式会社 田富事業所にて、ガス検知カメラを活用し、低圧・高圧状態のガスのガス検知(可視化)が可能であることが確認できた。一方で、低圧配管での漏れや配管上のピンホールなどのガスの排出量が微量、もしくは日陰等、赤外線放射量が少なく、検知したガスと背景のコントラストが低い場合は、ガスの漏えいを発見することが難しい。また風がない場合は画面上の変化が少ないため、ガスの漏えいか赤外線放射量が少ないかの違いが分からないため、前後比較しなければ、ガス漏れに気付くことが難しい場面もあった。今後はガスの種類や排出量に関わらず、ガスが漏れていることが容易に判断できるような仕組み(画像解析等の AI 技術を活用する等)を検討する必要がある。

(4) 検証項目 A-4,B-4：高所などの危険箇所や仮設の足場が必要な箇所における目視点検が可能か

(ア) 検証項目 A-4 山梨流通株式会社 都留事業所、田富事業所

ドローンの可視カメラを用いて高所等の危険箇所や仮設の足場が必要な箇所を撮影し目視点検と同じレベルで外観目視点検・異常を判断できるかを確認した。

① LPG 貯槽

都留事業所にて、点検時に備え付けの簡易なはしごで昇降が必要な貯槽上部について、ドローンカメラにて、高度約 10 メートル、20 倍のズームかつ、カメラを下 60 度に傾け撮影することで、通常の見視点検と同じレベルで判断できる解像度で、汚れ等の現状の状態の確認が可能であった。



図 103 LPG 貯槽の上部全体の撮影結果
(左側:LPG 貯槽正面、右側:左の赤丸箇所について上からの撮影図)

田富事業所においても、点検時に備え付けの簡易なはしごで昇降が必要な貯槽上部について、ドローンカメラにて、高度約 10 メートル、20 倍のズームかつ、カメラを下 60~70 度に傾け撮影することで、通常の見視点検と同じレベルで判断できる解像度で、汚れ等の現状の状態の確認が可能であった。



図 104 LPG 貯槽の上部の錆の撮影結果(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

LPG 貯槽の高さは約 3m とはしごを使わないと上部の点検ができず、さらに貯槽の長さによっ

てははしごを登っても見えにくい箇所があった。ドローンの可視カメラにより、通常の目視検査と同じレベルで判断できる解像度で、足場のない箇所含め点検には危険が伴う箇所の撮影・点検が可能であることが確認できた。

② 配管

都留事業所にて、点検時に仮設の足場が必要な配管の上側及び側面について、ドローンカメラにて、高度約 15 メートル、40 倍のズームかつ、カメラを正面にして撮影することで、通常の目視点検と同じレベルで判断できる解像度で、汚れ・錆などの現状の状態の確認が可能であった。



図 105 配管の上部の放出管(・レインキャップ)・側面の撮影結果
(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

田富事業所においても、点検時に仮設の足場が必要な配管の上側及び側面について、ドローンカメラにて、高度約 20 メートル、20 倍のズームかつ、カメラを下 45 度に傾け撮影することで、通常の目視点検と同じレベルで判断できる解像度で、汚れ・錆などの現状の状態の確認が可能であった。



図 106 配管の上面の放出管(・レインキャップ)の撮影結果
(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

今回点検した配管の高さは LPG 貯槽より高い位置に設置されており、細長い配管のため足場を組まないと目視点検が難しい場所であった。ドローンの可視カメラにより、通常の目視検査と同じレベルで判断できる解像度で、足場のない箇所含め点検には危険が伴う箇所の撮影・点検が可能であることが確認できた。

③ 充てん機

都留事業所にて、屋内の天井付近に設置されている充てん機の上部の回転部分(スイベル)について、ドローンカメラにて高度約 3メートル、30 倍のズームかつ、カメラを上 25~30 度に傾け撮影することで、通常の見点検と同じレベルで判断できる解像度で、汚れ・錆などの状態確認が可能であった。



図 107 充てん機の上部の回転部分(スイベル)の撮影結果
(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

田富事業所においても、点検時に高所作業が必要となる充てん機の上側について、ドローンカメラにて、高度約 1.5~2メートル、20 倍のズームかつ、カメラを上 50 度に傾け、正面から撮影することで、通常の見点検と同じレベルで判断できる解像度で、汚れ・錆などの現状の状態の確認が可能であった。



図 108 充てん機の上部の撮影結果
(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

今回撮影した充てん機は建物内の高い設置されており、足場を組んで近くで見ないと見点検が難しい箇所であった。ドローンの可視カメラにより、通常の見点検と同じレベルで判断できる解像度で、足場のない箇所を含め点検には危険が伴う箇所の撮影・点検が可能であることが確認できた。

(イ) 検証項目 B-4 ひびき LNG 基地

ドローンカメラを用いて高所等の危険箇所や仮設の足場が必要な箇所を撮影し、撮影した画像をもとに外観見点検ができるかを確認した。

① 液化ガス用貯槽(LNG 貯槽)

高さ約 54m の LNG 貯槽には、メーターや配管が密集している箇所に関しては足場が組まれているものの、側面のコンクリート箇所や上部の弧の箇所については足場を組まなければならない、高所で危険であるが、ドローンカメラにて、高度約 60 メートル、50 倍のズームかつ、カメラを下 30 度に傾け、正面から撮影することで、通常の見点検と同じレベルで判断できる解像度で、錆の撮影が可能であった。



図 109 LNG 貯槽の弧の箇所の錆の撮影結果(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)



図 110 LNG 貯槽の側面の撮影結果(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

高さは約 60m の LNG 貯槽には上部に昇るための階段が設置されているが側面に足場は組まれておらず、上から見上げようとしても見える範囲が限られていた。ドローンの可視カメラにより、通常の見点検の足場を組んで実施する目視点検と同じレベルで判断できる解像度で、足場のない箇所を含め点検には危険が伴う箇所の撮影・点検が可能であることが確認できた。

② 液化ガス用貯槽(LPG 貯槽)

LNG 貯槽同様、点検時に仮設の足場が必要な貯槽上部及び側面について、ドローンカメラにて、高度約 20 メートル、50 倍のズームかつ、カメラを上 30 度に傾け撮影することで、通常の見点検と同じレベルで判断できる解像度で、錆や汚れなどの現状の状態の確認が可能であった。



図 111 LPG 貯槽の上部の錆の撮影結果(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)



図 112 LPG 貯槽の側面の撮影結果(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

高さは約 10m の LPG 貯槽には上部に昇るための足場は組まれているものの LNG 貯槽同様に、側面に足場は組まれておらず、上から見上げようとしても配管が通っており、目視点検も遠く離れた場所からのみと制約があった。ドローンの可視カメラにより、通常の仮設の足場を組んで実施する目視検査と同じレベルで判断できる解像度で、足場のない箇所含め点検には危険が伴う箇所の撮影・点検が可能であることが確認できた。

③ 附帯設備(配管ラック)

点検時に仮設の足場が必要な配管の上側及び側面について、ドローンカメラにて、高度約 10メートル、30 倍のズームかつ、カメラを下 70 度に傾け撮影することで、通常の見視点検と同じレベルで判断できる解像度で、汚れ・錆などの現状の状態の確認が可能であった。



図 113 配管ラックと配管の上部からの撮影結果(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)



図 114 配管ラックと配管の錆の撮影結果(左側:全景、右側:左の赤丸箇所の拡大図)

ドローンのズームカメラにより、遠くの配管の錆や配管の隙間からもラックの状態や配管の基礎部分まで確認が可能であった。高所でなかなか確認ができない配管ラック及び配管の状態についても、ドローンの可視カメラにより、通常の仮設の足場を組んで実施する目視検査と同じレベルで判断できる解像度で、足場のない箇所含め点検には危険が伴う箇所の撮影・点検が可能であることが確認できた。

(ウ) 検証項目のまとめ

仮設の足場が必要もしくは人手では危険を伴う箇所の目視点検は、時間等の複数の制約があるため、ドローンのカメラで撮影することでクイックな状態確認に活用することも可能である。今回の実証でドローンの可視カメラにより、通常の仮設の足場を組んで実施する目視検査と同じレベルで判断できる解像度で、足場のない箇所含め点検には危険が伴う箇所の撮影・点検が可能であることが確認できた。

(5) 検証項目 A-5,A-6,A-7,B-5,B-6,B-7 : ドローンで撮影したデータのクラウド上での蓄積、AI 解析、管理ができるか

(ア) 検証項目 A-5,A-6 山梨流通株式会社 都留事業所、田富事業所

ドローンカメラを用いて、錆やひび等の異常を撮影し、その写真を AI 解析し、通常の見視点検と同じレベルで修繕が必要な錆を検知できるか、またメーターを撮影し、AI 解析により、事業者が設定している、読み取り数値の許容範囲、小数点第 2 位までの読み取りが可能かを確認した。

① LPG 貯槽

LPG 貯槽の錆が起きやすい基礎部の錆について、通常の見視点検と同じレベルで修繕が必要な錆は検知が可能であった。一方で、修繕が不要なレベルの薄い錆は未検知、もしくは光の陰で誤検知している箇所があったが、点検対象について、修繕が必要なレベルの錆は全て検知が可能であった。

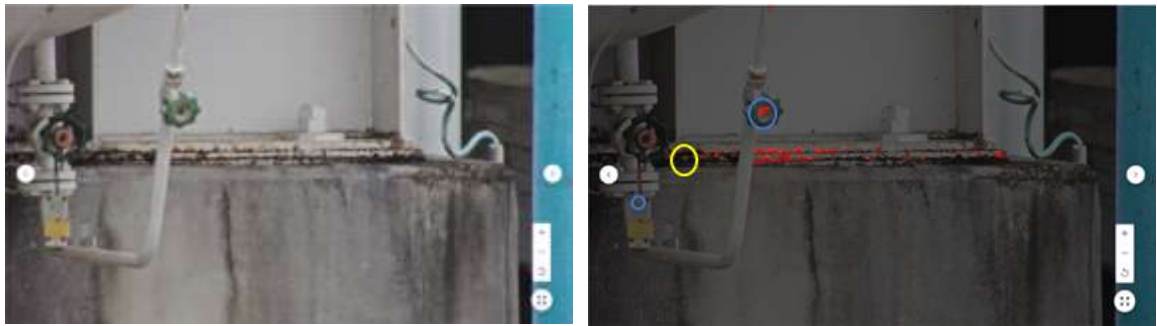


図 115 LPG 貯槽の基礎部分の錆の AI 解析結果

凡例 ● : 検知された錆 ○ : 未検知 ○ : 誤検知

ひびについては、薄いひびの見落としはあったものの、通常の見視点検と同じレベルでひびの輪郭が捉えられていた(=検知が可能であった。)



図 116 LPG 貯槽の基礎のひびの AI 解析結果 1 (赤線 : 検知されたひび)

凡例 — : 検知されたひび ○ : 未検知 ○ : 誤検知



図 117 LPG 貯槽の基礎のひびの AI 解析結果 2 (赤線 : 検知されたひび)

凡例 — : 検知されたひび ○ : 未検知 ○ : 誤検知



図 118 LPG 貯槽の基礎部分のひびの AI 解析結果 3 (赤線：検知されたひび)

凡例 ：検知されたひび ：未検知 ：誤検知

メーターの読み取りは、下向きかつガラスの蓋部分が曇っていたために、正しく読み取りができなかった。しかし、メーターであるかどうかの検知自体はできていた。



図 119 LPG 貯槽の前側のメーターの AI 解析結果

凡例 水色枠：読み取り精度が低い、黄色枠：読み取り不可

LPG 貯槽の AI 解析まで含めた点検において、通常の見視点検と同じレベルで修繕が必要な錆等の腐食の検知が可能であった。一部のメーターの数値は設置の向きやメーター盤の汚れで正しく読み取れなかったが、人手の見視点検の場合でも読み取りが難しく、点検前にタオルなどでメーター盤をふき取る等を実施することが想定される。ドローンで撮影し、AI 解析を行う運用をする際は、メーターの向きの変更やドローンでの撮影位置・角度等を別途検討する必要がある。

② 配管

一部、錆の色が薄い箇所が未検出であったが、通常の見視点検と同じレベルで修繕が必要な錆は検知が可能であった。

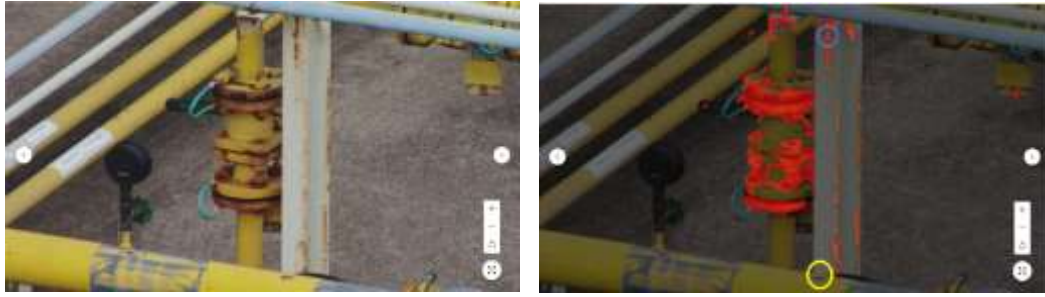


図 120 配管とその周辺の錆の AI 解析結果
 凡例 ● : 検知された錆 ● : 未検知 ○ : 誤検知

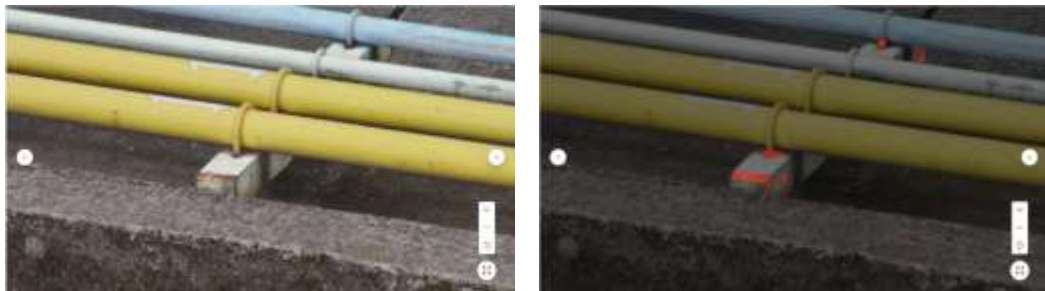


図 121 配管と基礎の設置部分の錆の AI 解析結果
 凡例 ● : 検知された錆 ● : 未検知 ○ : 誤検知

通常の見視点検と同じレベルで修繕が必要な、色が銀色の設備上の錆は検知できていた。一方で、修繕は不要なレベルであるが、黄色の配管の錆は検知できていなかった。

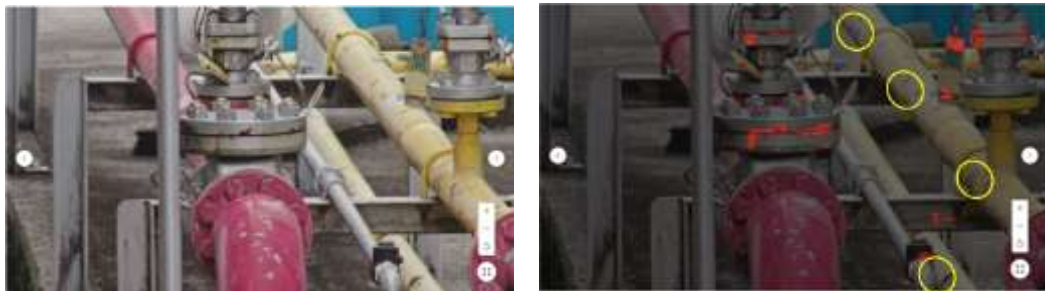


図 122 配管の錆の AI 解析結果 1
 凡例 ● : 検知された錆 ● : 未検知 ○ : 誤検知

オレンジ色の配管を錆として誤検知していた。また、修繕は不要なレベルであるが、黄色の配管の錆は検知できていなかった。

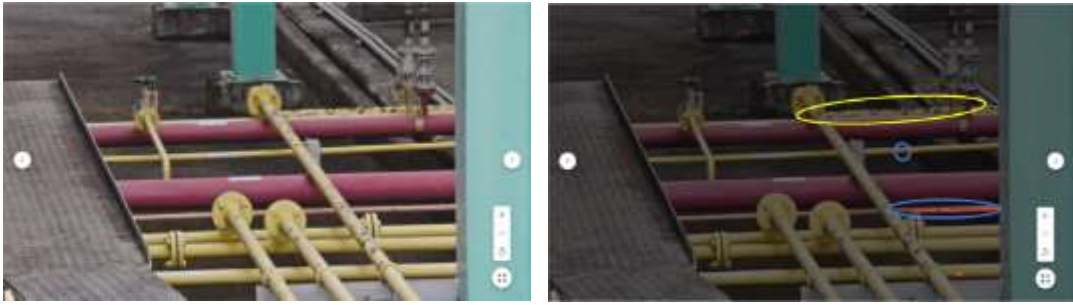


図 123 配管の錆の AI 解析結果 2

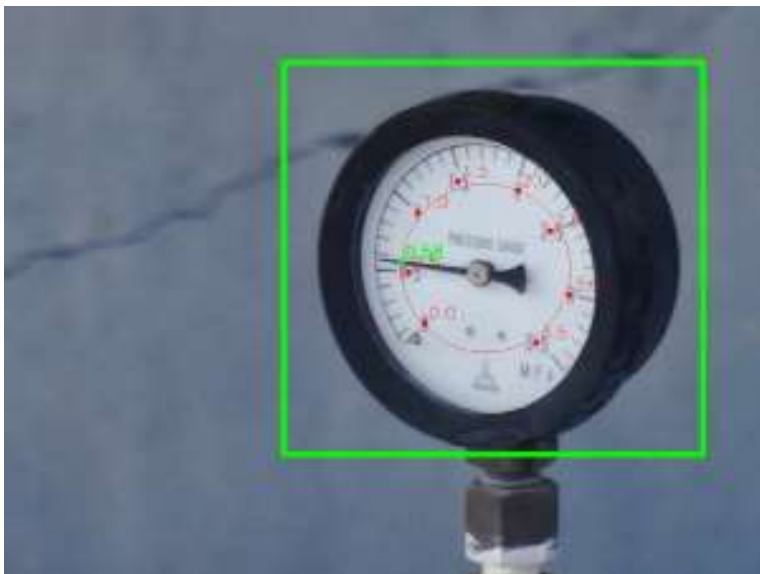
凡例 ● : 検知された錆 ● : 未検知 ○ : 誤検知

それぞれのメーターの数値は小数点第 2 位まで正しく読み取れていた。



メーター読み取り値	0.57
メーター値 (目検)	0.57
誤差	0.00

図 124 配管に設置されているメーターの AI 解析結果 1



メーター読み取り値	0.58
メーター値 (目検)	0.58
誤差	0.00

図 125 配管に設置されているメーターの AI 解析結果 2

配管の AI 解析まで含めた点検において、通常の見視点検と同じレベルで修繕が必要な錆は検知できていたが、修繕が不要と判断されるレベルかつ黄色の配管上の錆の検知は難しかった。この原因としては、使用した AI モデルの学習データに黄色の配管上の錆が十分に含まれていなかったことが考えられる。一方、メーターの読み取りは正しく行っていたため、向き等はっきり数値と針の位置が見える状態であれば、ドローン撮影と AI 解析によるメーターの数値確認は可能である。錆の AI 検知を今後運用していく場合は、黄色の配管上の錆を学習させ精度を向上させることで、より軽度の錆の検知も可能になると考える。

③ 充てん機

充てん機が設置されている建物の基礎のひびについて、通常の見視点検と同じレベルだが、修繕は不要である軽度のひびまで検知可能であった。一部ひびのような箇所は傷や汚れである。



図 126 建物の基礎のひびの AI 解析結果

凡例  : 検知されたひび  : 未検知  : 誤検知

今回は、充てん機には錆やひびが無かったため、建物の基礎のひびをドローンの可視カメラで点検した。通常の見視点検と同じレベルでひびと傷、汚れを見分け、ひびを正しく検知できていたことが確認できた。

④ ローディングアーム

一部、錆の色が薄い箇所が未検知であったが、通常の見視点検と同じレベルで修繕が必要な錆は検知可能であった。



図 127 ローディングアームの接合部分の錆の AI 解析結果

凡例 ●：検知された錆 ○：未検知 ○：誤検知

配管の錆検知と同様、修繕は不要な小さな/薄い錆の検知はできていなかったものの、修繕が必要な錆の検知は通常の見視点検と同じレベルでできていた。ただし、ガス事業者によって、検知したい腐食のレベルが変わることが想定されるため、運用をする上では、どのレベルの錆を検知すべきか検討が必要である。

⑤ 圧縮機

圧縮機周辺の手すり含め、通常の見視点検と同じレベルで修繕が必要な錆は検知できた。一方で写真の端に写っている錆は検知できておらず、ガス検知器を誤検知していた。

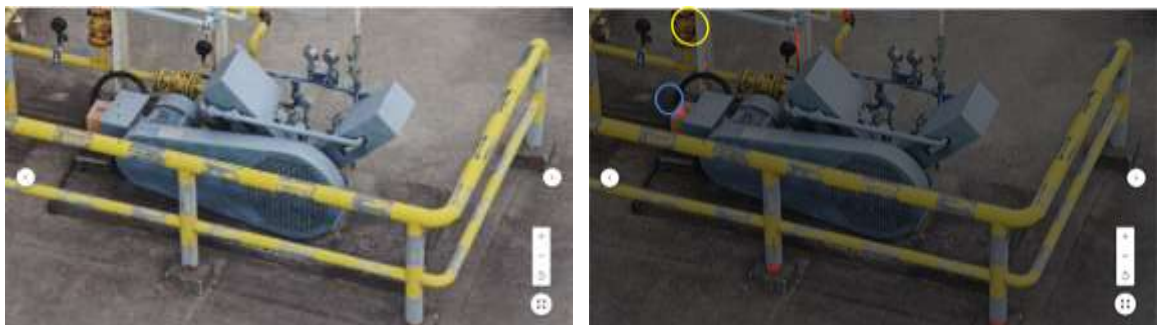


図 128 圧縮機とその周辺の錆の AI 解析結果

凡例 ●：検知された錆 ○：未検知 ○：誤検知

メーターの検知は 2 つのメーターを 1 つのメーターとして捉えてしまう場合や、丸い標示板をメーターと誤検知するなどの誤検知が発生した。

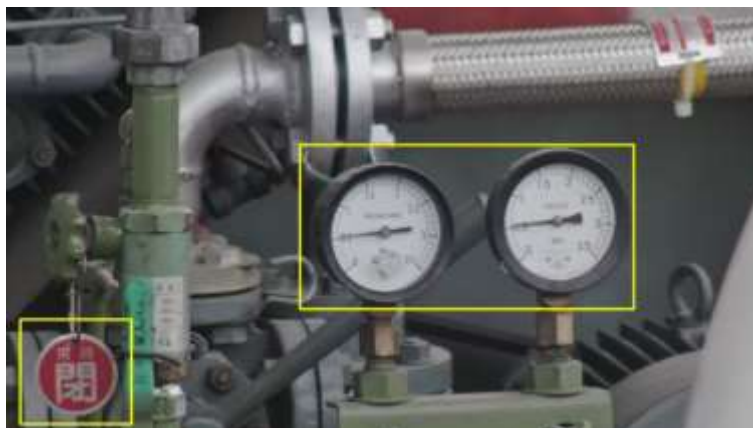


図 129 メーター読み込み誤検知の例

圧縮機の AI 解析まで含めた点検において、黄色や赤色等の色が入った画像上で、修繕が不要なレベルの錆の誤検知・未検知があった。今後運用する上では、黄色、赤色の配管かつ、通常の見視点検と同じレベルで修繕が必要な錆を検知できるかを事前に検証しておく必要がある。

また、複数メーターが写っている場合でも、それぞれ検知・数値読み取りができることが望ましいため、AI に追加で学習させ、精度向上を行うことが可能である。

(イ) 検証項目 B-5,B-6,B-7 ひびき LNG 基地

ドローンカメラを用いて、錆やひび等の異常を撮影し、その写真を AI 解析し、通常の見視点検と同じレベルで修繕が必要な錆を検知できるか、またメーターを撮影し、AI 解析により、事業者が設定している、読み取り数値の許容範囲、目盛の 1/10 までの読み取りが可能かを確認した。

① 液化ガス用貯槽(LNG 貯槽)

誤検知は無く、一部錆の色が薄い箇所もしくは錆の範囲が狭い箇所について未検知があったが、通常の見視点検と同じレベルで修繕が必要な色が濃い錆については検知可能であった。

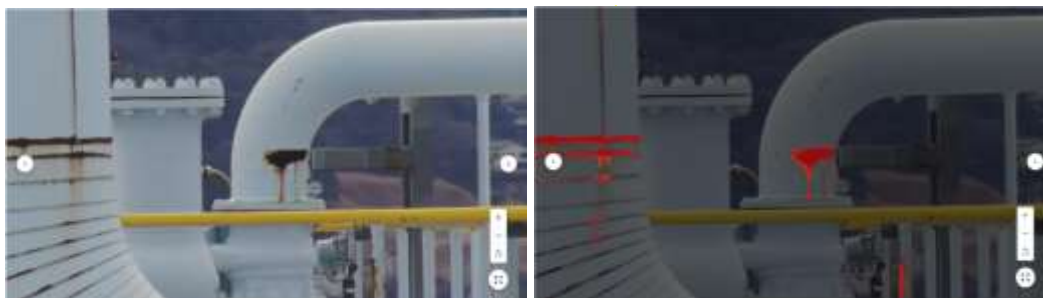


図 130 LNG 貯槽上部の錆の AI 解析結果
 凡例 ● : 検知された錆 ● : 未検知 ○ : 誤検知

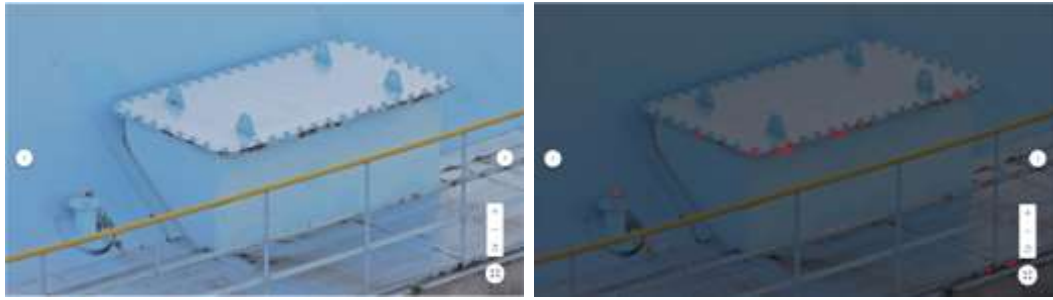


図 131 LNG 貯槽の足場の錆の AI 解析結果

凡例 ● : 検知された錆 ○ : 未検知 ○ : 誤検知

ひびについては、点検対象の修繕が不要なレベルの小さなひびのみであったために、一部誤検知と未検知があった。しかし、ひびの輪郭は捉えられていた。



図 132 LNG 貯槽の側面のひびの AI 解析結果 1

凡例 — : 検知されたひび ○ : 未検知 ○ : 誤検知

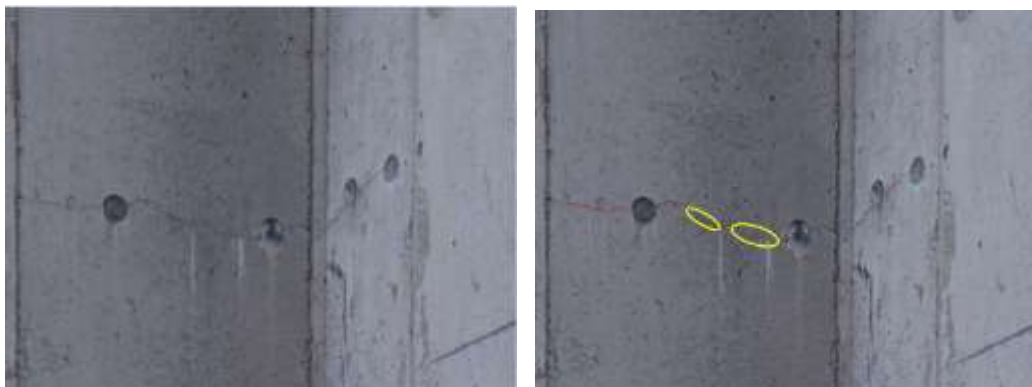
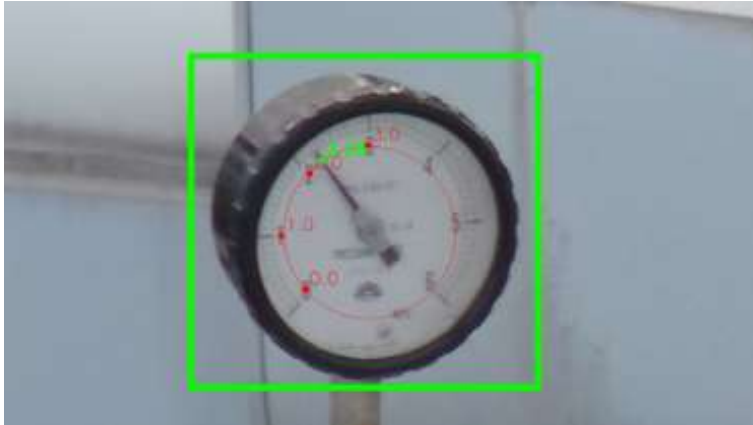


図 133 LNG 貯槽の側面のひびの AI 解析結果 2

凡例 — : 検知されたひび ○ : 未検知 ○ : 誤検知

メーターの数値については、事業者が設定している、メーター上に記載の目盛の 1/10 まで読み取りが必要であることに対し、0.05 の誤差があり、正しい数値の読み取りではなかった。これは斜め上からの撮影だったために起こった誤差であるため、運用の際は正面からぶれずに撮影すること、AI 解析の再学習により誤差の範囲を縮めることは十分可能と考える。



メーター読み取り値	2.28
メーター値(目検)	2.23
誤差	0.05

図 134 LNG 貯槽に設置されているメーターの AI 解析結果 2

LNG 貯槽の AI 解析まで含めた点検において、錆等の腐食の検知やひびの検知、正面からの撮影において、メーターの読み取りが可能であったため、ドローン撮影と AI 解析による LNG 貯槽の点検は通常の見視点検と同じレベルで可能であることが確認できた。

② ガス発生設備(LNG 気化器)

一部、青色の板の中の銀色のボルトを錆と誤検知している箇所や、光の陰で誤検知している箇所があったが、見視点検と同じレベルで修繕が必要なレベルの錆は検知可能であった。



図 135 LNG 気化器正面の錆の AI 解析結果

凡例 ● : 検知された錆 ○ : 未検知 ○ : 誤検知

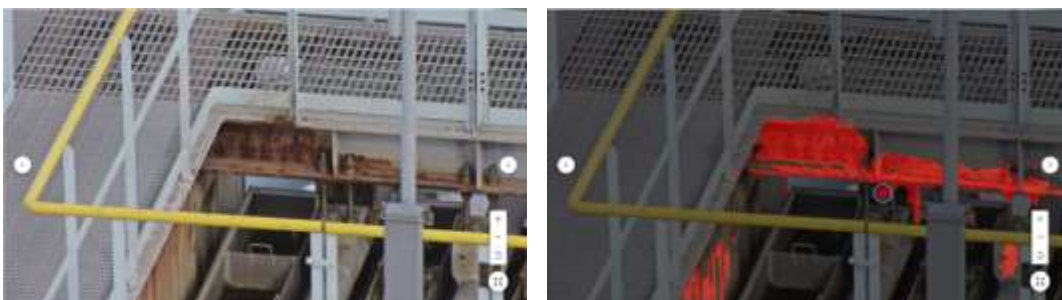


図 136 LNG 気化器上部の錆の AI 解析結果

凡例 ●：検知された錆 ○：未検知 ○：誤検知

周囲の色や他の物体の陰に隠れた関係で錆と誤検知してしまっている箇所があったが、通常の目視点検と同じレベルで修繕が必要な錆は検知できていた。ただし、誤検知を少なくするためにも今後、運用していく上では、再学習による精度の向上が必要である。

③ 液化ガス用貯槽(LPG 貯槽)

一部光の反射、及びオレンジ色の設備に反応して錆と誤検知してしまっている箇所が見受けられたが通常の目視点検と同じレベルで修繕が必要な錆の検知はできていた。



図 137 LPG 貯槽の錆の AI 解析結果 1

凡例 ●：検知された錆 ○：未検知 ○：誤検知

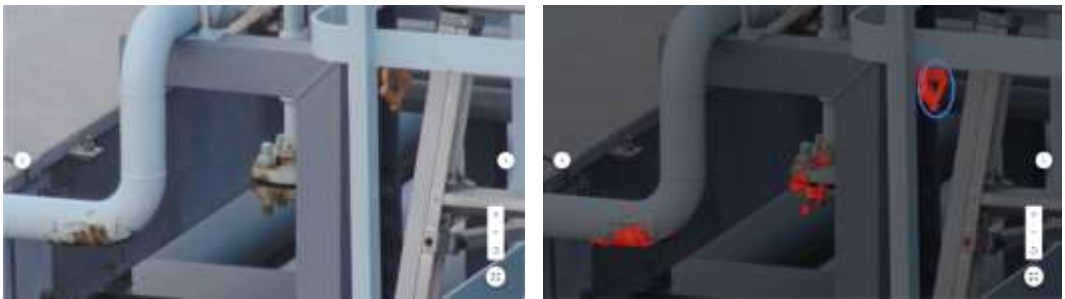


図 138 LPG 貯槽の錆の AI 解析結果 2

凡例 ●：検知された錆 ○：未検知 ○：誤検知

ひびについては、一部未検出部分はあったが、通常の目視点検と同じレベルで修繕は不要なひびであり、輪郭が捉えられていた。

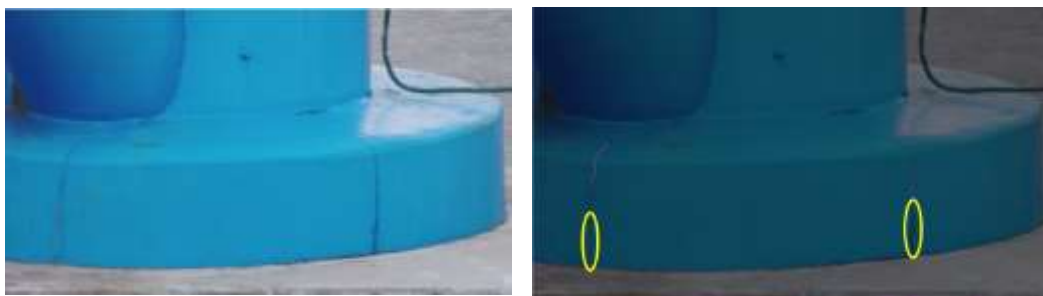


図 139 LPG 貯槽のひびの AI 解析結果

凡例 ■：検知されたひび ○：未検知 ○：誤検知

正面から撮影したが、少しぼやけていることから、左のメーターについては、正しく数値の読み取りができなかった。一方右側のメーターは通常の見視点検と同じレベルでの数値読み取りが可能であった。



	左	右
メーター読み取り値	10.3	0.64
メーター値(目検)	10.0	0.64
誤差	0.3	0.00

図 140 LPG 貯槽に設置されているメーターの AI 解析結果

LPG 貯槽の AI 解析まで含めた点検において、通常の見視点検と同じレベルで錆等の腐食の検知やひびの検知、メーターの読み取りができていた。一部誤検知や未検知があったため、AI 検知を今後運用していく場合は、錆については塗装と錆の区別がつくよう再学習をさせ、メーターについては目盛よりも細かい部分をどこまで精度を高くしていくか事業者と検討して、点検に最適な精度にしていく必要がある。

④ ガス発生設備(LPG 増熱器)

一部、錆が薄い部分についての未検知や光の陰で暗くなっている部分の誤検知が見受けられたが、通常の見視点検と同じレベルで修繕が必要な色の濃い錆部分は検知可能であった。

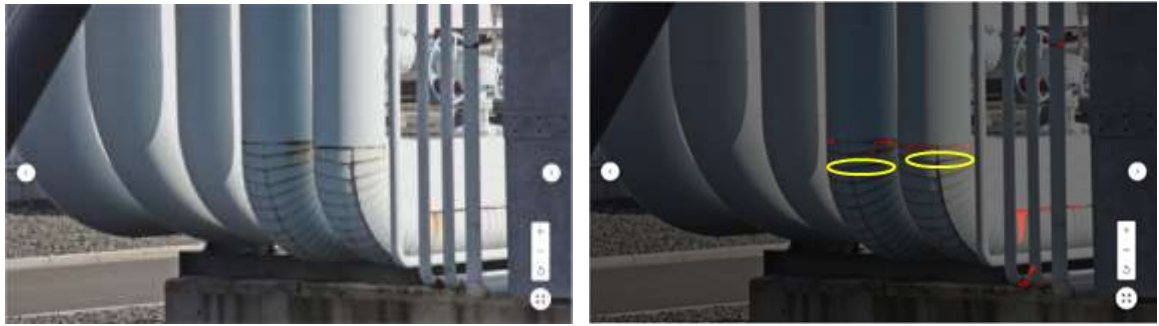


図 141 LPG 増熱器の錆の AI 解析結果 1

凡例 ● : 検知された錆 ○ : 未検知 ○ : 誤検知

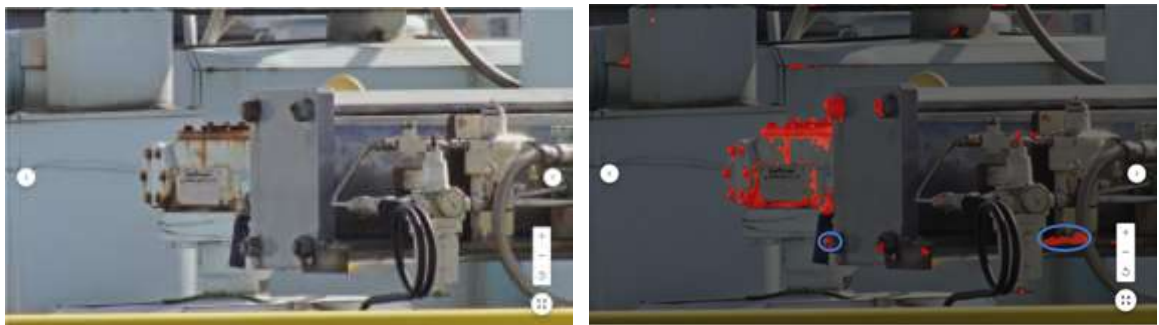


図 142 LPG 増熱器の錆の AI 解析結果 2

凡例 ● : 検知された錆 ○ : 未検知 ○ : 誤検知

メーターの数値までは出力できていたが、斜めからの撮影だったこともあり、数値を正しく読み取ることができなかった。



メーター読み取り値	68.5
メーター値 (目検)	70.0
誤差	1.5

図 143 LPG 増熱器に設置されているメーターの AI 解析結果

LPG 増熱器の AI 解析まで含めた点検において、通常の見視点検と同じレベルで修繕が必要な錆等の腐食の検知は可能であった。メーターの数値は設置向きが斜めで読み取りが難しい角度であったため、正しく読み取れなかった。ドローンで撮影し、AI 解析を行う運用をする際は、メーターの向き、もしくは撮影角度を別途検討する必要がある。

⑤ 付帯設備(配管ラック)

一部の錆は未検知であったが、通常の見視点検と同じレベルで修繕が必要な錆の輪郭は捉えられていた。

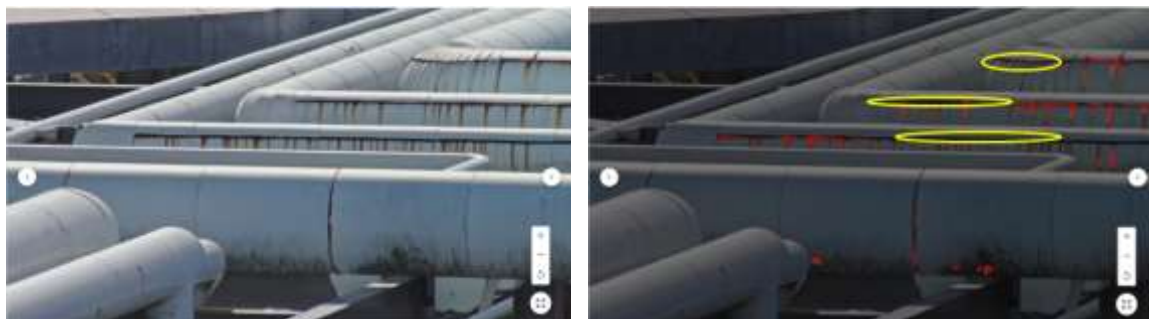


図 144 配管ラックと配管の錆の AI 解析結果 1
凡例 ● : 検知された錆 ● : 未検知 ○ : 誤検知

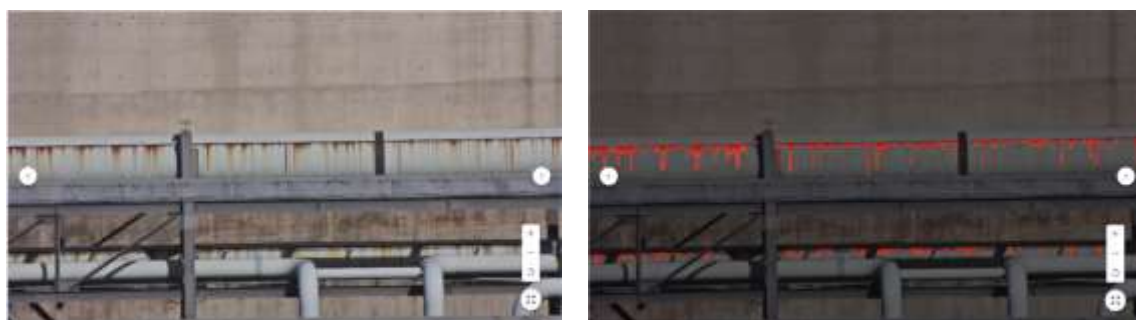


図 145 配管ラックと配管の錆の AI 解析結果 2
凡例 ● : 検知された錆 ● : 未検知 ○ : 誤検知

配管の AI 解析まで含めた錆やひびの点検において、一部未検知があったものの、全体的に通常の見視点検と同じレベルで修繕が必要な錆が分かる程度に検知できており、錆の検知は十分可能であった。メーターについては、正面からピントを合わせた状態で撮影することで数値の読み取りは十分可能であった。今後、より多くの錆・ひびやメーターを学習させることで精度向上は可能であり、運用にも活用できると考える。

(ウ) 検証項目 A-7,B-7

今回の実証の中で撮影したデータをデータマネジメントシステムにアップロードし、撮影データの管理が可能であるかを確認したところ、今回は撮影場所・撮影日毎にフォルダ管理が行えることが確認できた。

また、それぞれのデータを選択することで、AI 解析前後のデータの確認や、そのデータにおけるラベル付け、メモ記載、点検済みかどうかについても登録が可能であった。

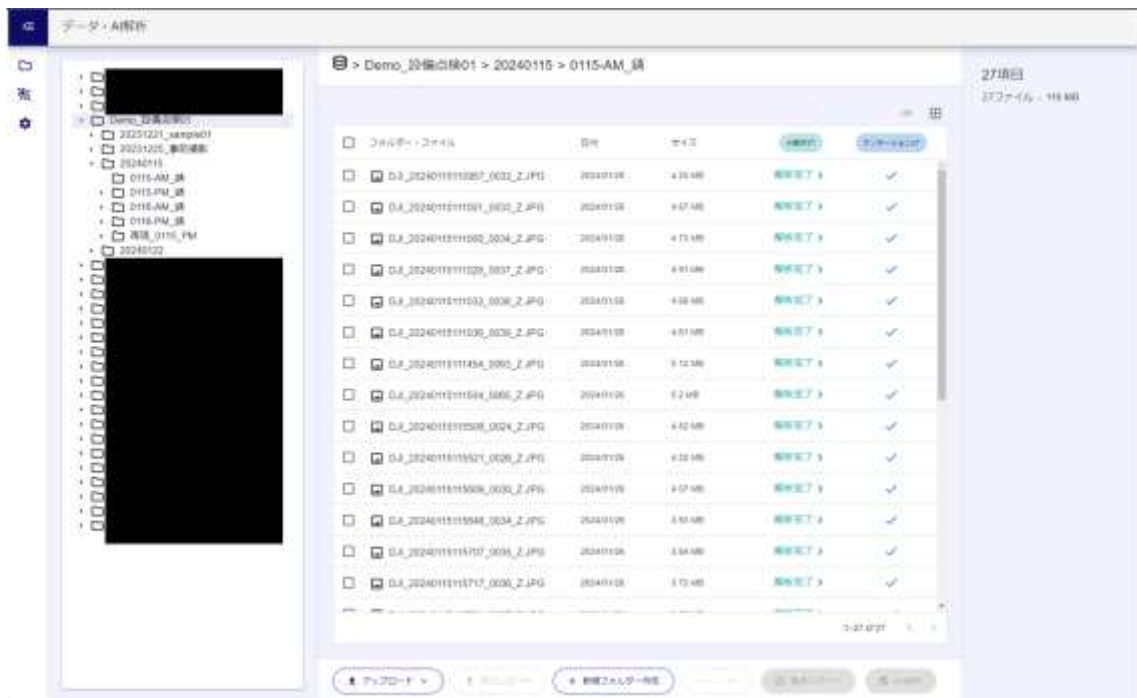


図 146 データマネージメントシステムへのデータアップロード後の画面

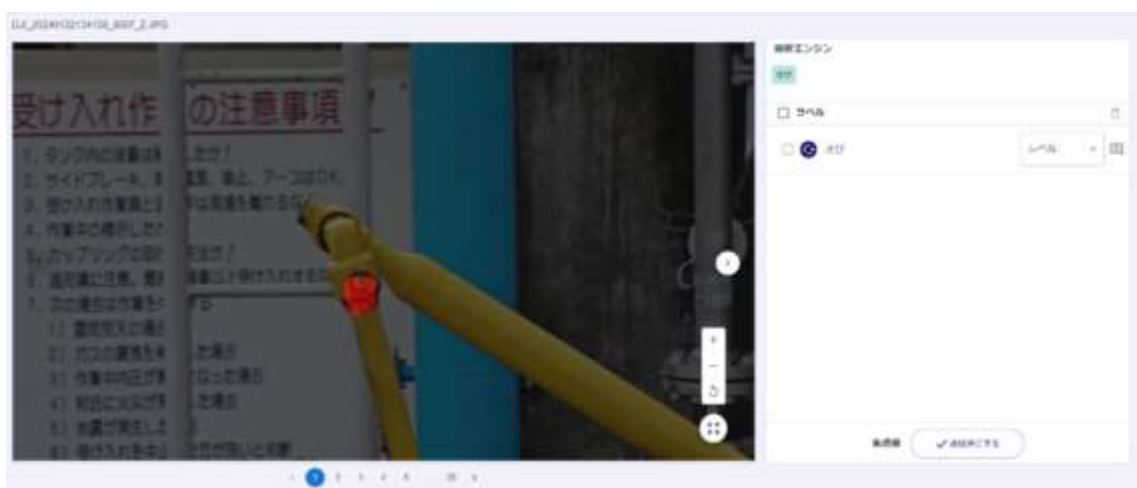


図 147 データマネージメントシステムでの錆の解析結果表示画面

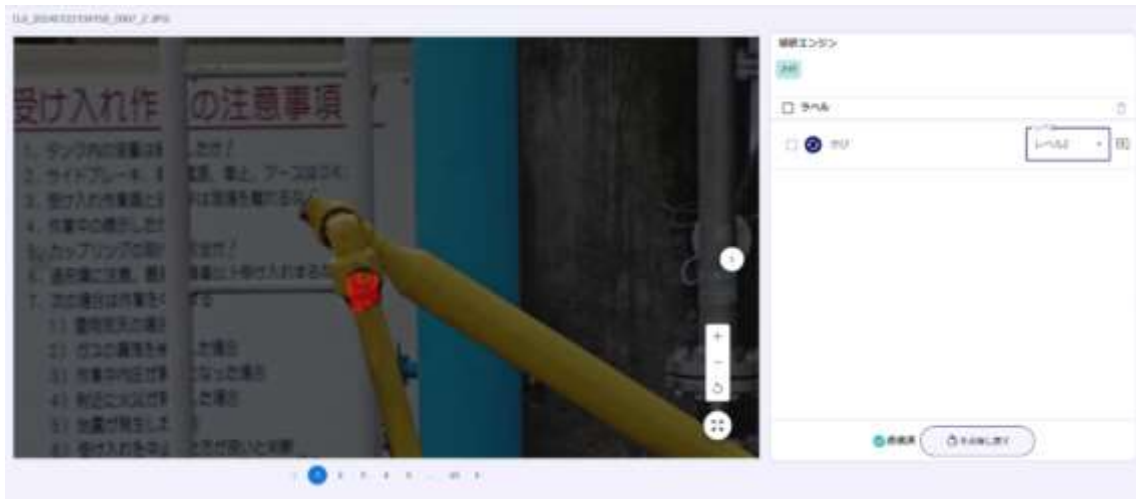


図 148 データマネージメントシステムでの AI 解析結果の点検完了画面

データマネージメントシステム上にアップロードされたデータを日付や案件毎等、任意の単位で管理することができた。また錆などの状態管理（レベル管理）や点検済みフラグなどの点検管理機能を評価することができた。一方でデータマネージメントシステムは外部へのデータエクスポートなどが現状オプション機能となっており、大規模な事業者が採用しているような設備管理システムとの連携運用については継続して検討が必要である。

(工) 検証項目のまとめ













撮影データをデータマネージメントシステムにアップロードし、日付毎等、任意の単位で撮影データの管理が可能であることが確認できた。また、各データに、AI 解析の結果やラベル付け、メモ記載、点検済みかどうかの登録も可能であった。運用にあたっては、自社システムとの連携を希望するガス事業者も存在するため、外部システムとの連携を検討する必要がある。

- (6) 検証項目 C-1,C-2,C-3：ドローン飛行の際にルートを適切に設定し、ルート通りに飛行が可能か。飛行した際に撮影した画像データが通常の目視点検と同じレベルで異常・メーターの数値読み取りが可能か確認した。

(ア) 検証項目 C-1,C-2,C-3 都留事業所、田富事業所

LP ガス事業者の充てん所における点検に自動運航、点検データの自動撮影が可能かの検証を実施した。フライトルートは目視点検を行う必要のある LPG 貯槽や充てん機を撮影し離陸地点に帰還するルートを設定した。飛行高度はメーターなどの読み取りやすさから約 3m～5m の範囲にてルートを作成した。ルートは地点を地図上に設定して決めるのではなく、人間がマニュアルで飛行したルートを学習させ、記録したルートをトレースして飛行するライブミッションモードと呼ばれる機能を活用しルートを作成した。

表 17 フライトルートと撮影結果

	1 回目	2 回目	3 回目
フライトルート記録			
貯槽のメーター			
配管のメーター-1			
配管のメーター-2			

飛行の結果、飛行ルート間の距離は最大 81mm 程度となり概ね事前に設定したルート通りに機体を自律飛行させることが可能であった。これは RTK を活用し、機体の GPS 機能単体よりも位置精度が高い状態で飛行できていることも飛行ルート間の差を小さくしている要因と考えられる。また、今回の実証においてはメーターをターゲットとして自律飛行機能の試験を行ったが、いずれの写真においてもメーターが鮮明に写っており、通常の見視点検と同じレベルでのドローンでの見視点検が十分可能であった。



図 149 飛行毎の飛行経路の差分



図 150 飛行高度の変化（高さは標高、253m が地面の標高となる）

(イ) 検証項目 C-1,C-2,C-3 ひびき LNG 基地

都市ガス事業者のプラントにおける目視点検に自動運航、点検データの自動撮影が可能かの検証を実施した。フライトルートは目視点検を行う必要のある LNG 貯槽を撮影し離陸地点に帰還するルートを設定した。飛行高度は壁面や貯槽上部のメーターや配管の読み取りやすさから約 50m にてルートを作成した。ルートは地図上に飛行する際の経由点を指定し、経由点を通して飛行するルート飛行するウェイポイントモードと呼ばれる機能を活用しルートを作成した。

表 18 フライトルートと撮影結果

	1 回目	2 回目	3 回目
フライトルート記録			
上部 1			
上部 2			
上部 3			

飛行の結果、飛行ルート間の距離は最大 360mm 程度となり概ね事前に設定したルート通りに機体を自律飛行させることが可能であった。LP ガス事業者における結果（81mm）に比べると大きい数値となる。誤差が大きくなった要因は当日の風速（地上風速 5m/sec 程度）に影響され、ウェイポイント上を直角に曲がる際に風に流され、その後ルートに戻っているものと考えられる。また、今回の実証においては貯槽及び貯槽上部配管をターゲットとして自律飛行機能の試験を行ったが、いずれの写真においても設備が鮮明に写っており、通常の見視点検と同じレベルでのドローンでの目視点検が十分可能であった。

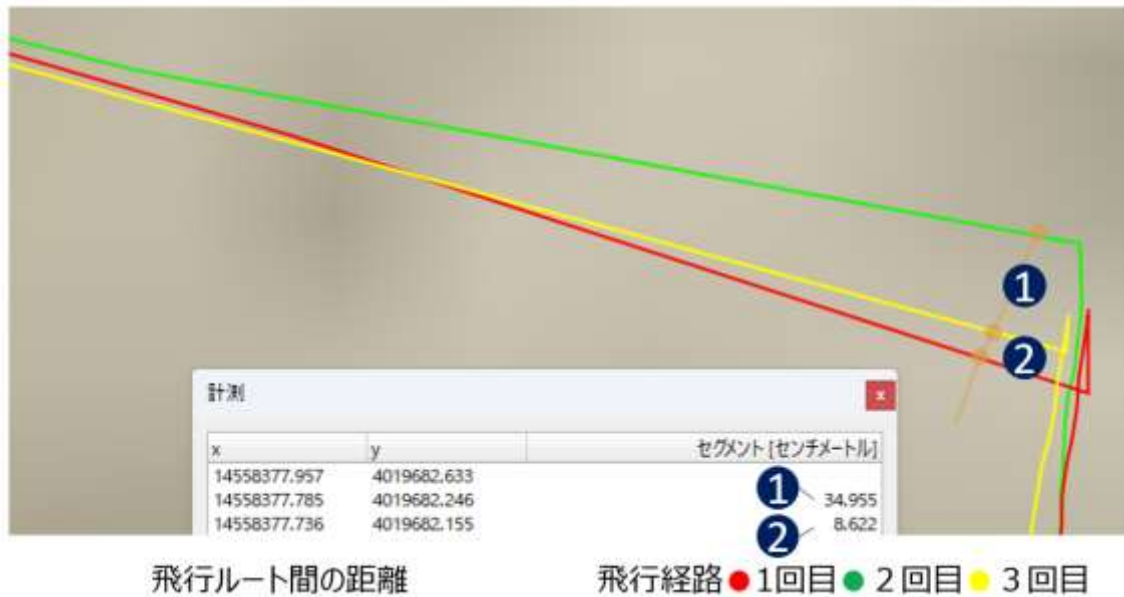


図 151 飛行毎の飛行経路の差分















図 152 飛行高度の変化（高さは標高、2m が地面の標高となる）

(ウ) 検証項目 C-1,C-2,C-3 コードベースキミツ

コードベースキミツにおいては対象物の撮影ではなく、自動運航が運航管理システムを経由して実施可能かの検証を実施した。フライトルートはコードベースキミツのグラウンドを周回するルートを設定した。飛行高度は 10mを指定しルートを作成した。ルートは地図上に飛行する際の経由点を指定し、経由点を通して飛行するルート飛行するウェイポイントモードと呼ばれる機能を活用しルートを作成した。

表 19 コードベーススキッツにおける飛行ルート

	1 回目	2 回目	3 回目
フライトルート記録			
校舎			
校舎ズーム			
校舎と体育館			

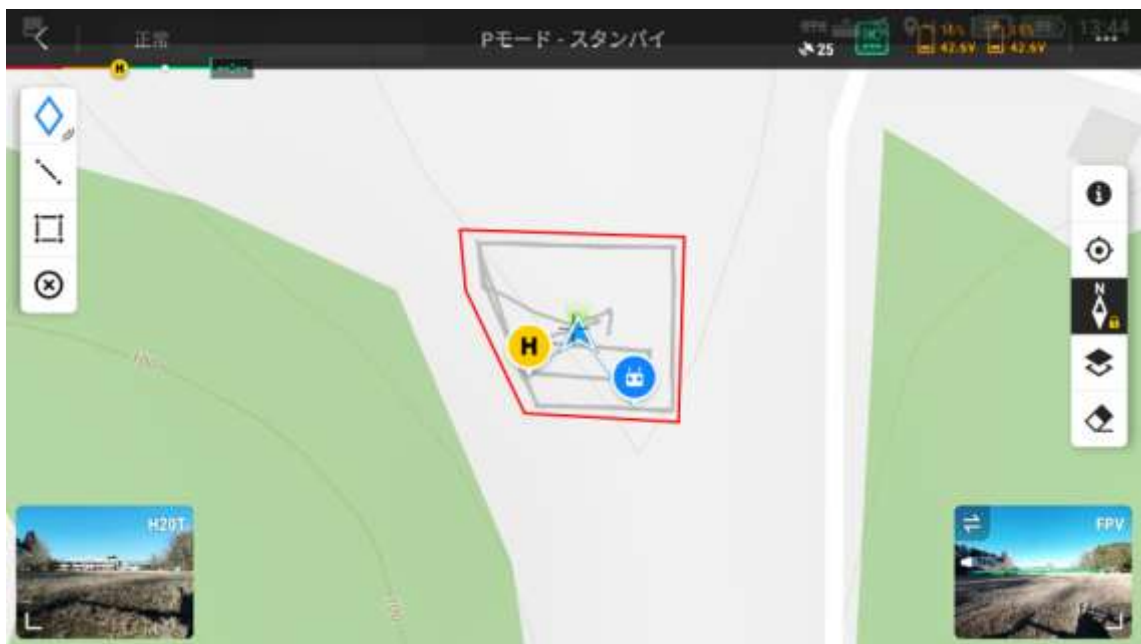


図 153 飛行ルート (3 回分の重ね合わせ)

飛行の結果、概ね設定ルート通りに飛行することが可能であった。コードベースキミツにおける試験では RTK が使用できなかったため、RTK を活用した場合に比べ精度が多少下がっているが、概ね同等の画像が撮影可能であった。

(工) 検証項目のまとめ

自律飛行機能を活用することにより、点検・検査対象の設備や装置を自動的に飛行・撮影することが可能であることを検証できた。また、自動飛行の際もメーターなどの目標物を正確に撮影することが可能で、通常の見視点検と同じレベルで見視点検ができることも検証できた。今回の撮影においては安全性を最優先した結果、最も飛行速度が遅い 1m/sec に設定し、実証を行った。この程度の速度であれば、人などの突発的にドローンの前に現れた障害物などにも対応できるため安全にも配慮した自動運航が可能である。

(7) 検証項目 D-1：自律飛行機能を喪失した際、安全に帰還できるか

(ア) 検証項目 D-1 コードベースキミツ

運航管理システム上で、ドローンが自律飛行機能を喪失した際に、マニュアル飛行に切り替わり安全にホームポイントに帰還できることを検証した。また、自律飛行中にマニュアル操作にて機体制御権を取得し、水平方向の移動、上下移動等のマニュアル飛行を行うことができることを確認した。



図 154 運航管理システム上での(左)自律飛行中と(右)自律飛行機能喪失後のマニュアル飛行中の飛行の様子

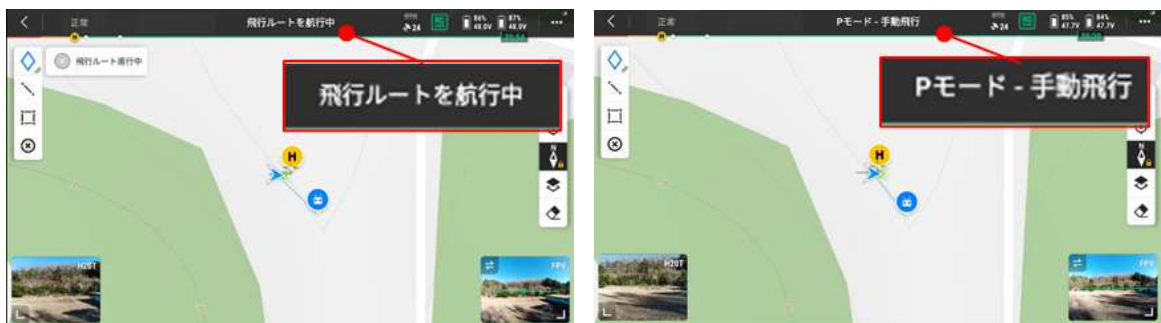


図 155 ドローンのコントローラー上での(左)自律飛行中と(右)自律飛行機能喪失後のマニュアル飛行中の飛行の様子

(イ) 検証項目のまとめ

今回は、自律飛行が喪失した状況を作り出すことが難しかったため、強制的に自律飛行機能を遮断することで、実際の自律飛行喪失状態を作り実施した。3回にわたり自律飛行喪失の模擬状態を作り、手動操縦に切り替える操作を行ったが、問題なくマニュアル操縦モードに切り替わったため、自律飛行喪失した際も安全に帰還できることを確認できた。

(8) 検証項目 D-2：バッテリー残量低下時に安全に帰還できるか

(ア) 検証項目 D-2 コードベースキミツ

本実証で用いたドローンの機体(Matrice300)は、現在位置からホームポイントまで飛行するために十分なバッテリー残量があるかを自動計算する。バッテリー残量が低下するとコントローラー上に警告を発し、さらに帰還ができない残量までバッテリーが減少すると、飛行タスクを中断し、RTH(Return To Home：ホームポイントへ帰還)機能が作動する。

今回の実証では設定したルートを自動飛行させ、今回の自動帰還が可能なバッテリー残量閾値である14%以下になるまで飛行させたところ、RTH機能が起動しホームポイントに帰還することを確認した。



図 156 バッテリー残量低による RTH の警告画面



図 157 バッテリー残量低により強制的に RTH する画面

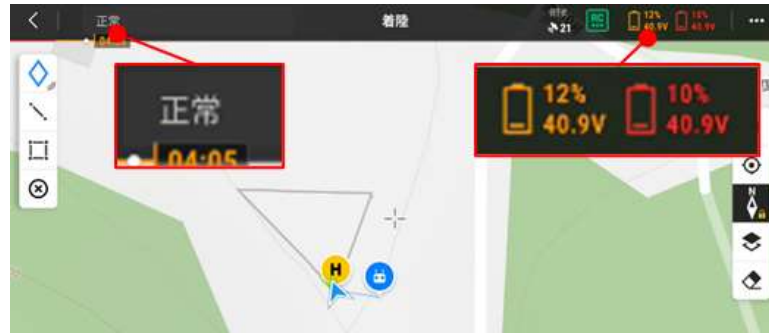


図 158 バッテリー残量低で最終的に RTH した画面

(イ) 検証項目のまとめ

今回、使用したドローンでは、特に事前の設定無しに、飛行距離に合わせ機体が自動計算しバッテリー残量 14%以下になった際にバッテリー残量低下の通知が表示され、問題なく自動的にホームポイントに帰還できた。帰還後のバッテリー残量は 12%であったため、帰還中に何か予測不能な問題が起こっても、ホバリング/迂回ルートの飛行が十分可能であるため、運航者がバッテリー残量確認を怠るなどヒューマンエラーが発生した際においても安全な運航が可能であると考えられる。

(9) 検証項目 D-3：障害物への衝突を防止し、安全に運航できるか

(ア) 検証項目 D-3 コードベースキミツ

ドローンの機体には障害物検知機能が搭載されており、機体の飛行中に障害物を検出した場合、機体はホバリング(空中停止)し、実際の飛行環境を確認するようユーザーに通知する機能を備えている。本実証では障害物として、ドローンを飛行させる高度の水平方向に建物の壁を使用した。事前に設定した、警告距離 3,5,8m の範囲内に障害物を検出した場合、機体は自動的にブレーキをかけるよう設定し、機体を障害物に近づけた。警告距離以下の範囲内に障害物を検出すると、自動でブレーキがかかり、衝突を回避することを確認した。



図 159 設定したフライトルート(赤字)と障害物のプール再度の建物(赤枠)。赤丸はホームポイント

今回、建物の壁から 3m, 5m, 8m の 3 パターンでパラメータを設定し、設定パラメータ未満に近づいた時点で、飛行ルートを一時停止し、ホバリングした。その後、自動的にホームポイントに帰還できることを全てのパターンにおいて確認した。



図 160 正常に自動運行している様子



図 161 衝突防止機能が働いている様子



図 162 衝突機能が作動し、強制着陸した様子

(イ) 検証項目のまとめ

設定したルートを自動で飛行している中で、自らが近づいている障害物に検知し、自動的に停止・ホームポイントへの帰還が問題なく、安全に作動することを確認できた。今回は固定の大きな障害物であったため、今後は動物や人など動くものや、ワイヤー等の小さい/細くて検知が難しい障害物でも検知が可能か、検証が必要である。

3.2.3 実証総括

(1) 精度、経済性、汎用性、安全性、展開の可能性の観点での評価結果

(ア) 精度

① 精度

防爆エリア外からのドローンの可視カメラによる撮影は、通常の見視点検と同じレベルで判断できる解像度で行えることが検証できた。一方でドローンにて他設備の陰になる等、物理的に撮影できない死角となる箇所も存在するため、運用する上では考慮が必要である。メーターの数値の読み取りは、撮影角度やメーター自体の鮮明さの影響が強いため、飛行高度や撮影角度の調整等の撮影環境の調整及び AI 解析の精度向上が必要である。ガス検知カメラにおいては、ガス事業者の施設でガス漏れを確認できなかったため、意図的に低圧・高圧状態のガスを漏えいさせたところ、ガスの検知が可能であった。



図 163 ローディングアーム(左)と LPG 増熱器の錆の撮影結果



図 164 LPG 貯槽の基礎のひびの撮影結果

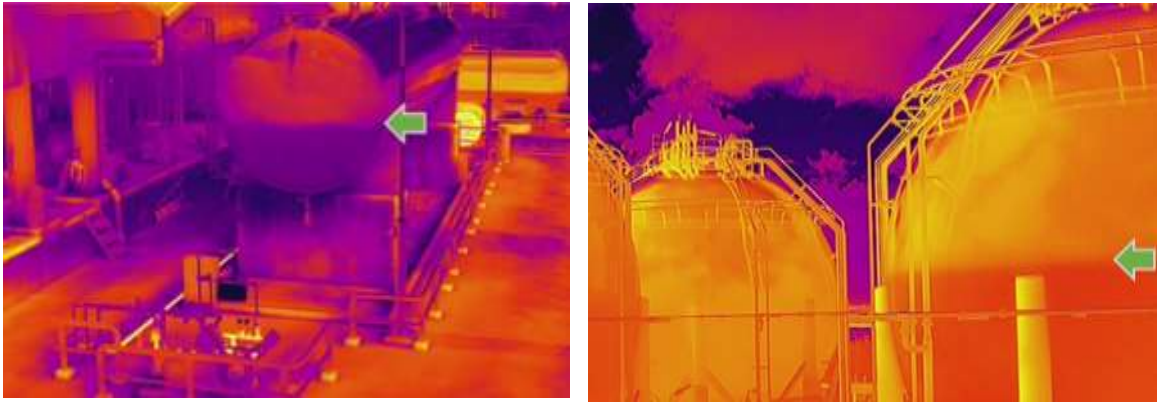


図 165 LPG 貯槽のサーマルカメラでの撮影結果(矢印までがタンク内の液量)



図 166 圧縮機(左)とLPG 増熱器のメーターの撮影結果



図 167 ガスメーターから(左) ガスを漏えいさせる前(右) ガスを漏えいさせた後



図 168 LP ガスボンベから（左）ガスを漏えいさせる前（右）ガスを漏えいさせた後

また、その撮影したデータを AI により解析し、(A-6,B-6)、通常の目視点検と同じレベルで修繕が必要な錆やひびの検知、メーターの数値読み取りが可能であった。AI による解析は設備の色や撮影時の光の反射の関係で、誤検知/未検知があったが、ガスプラントにおける撮影データを用い追加学習を行うことで精度向上が可能であると考えられる。



図 169 配管ラックの錆の AI 解析結果

凡例 ●：検知された錆 ●：未検知 ○：誤検知

青枠部分について、オレンジ色を錆と誤検知

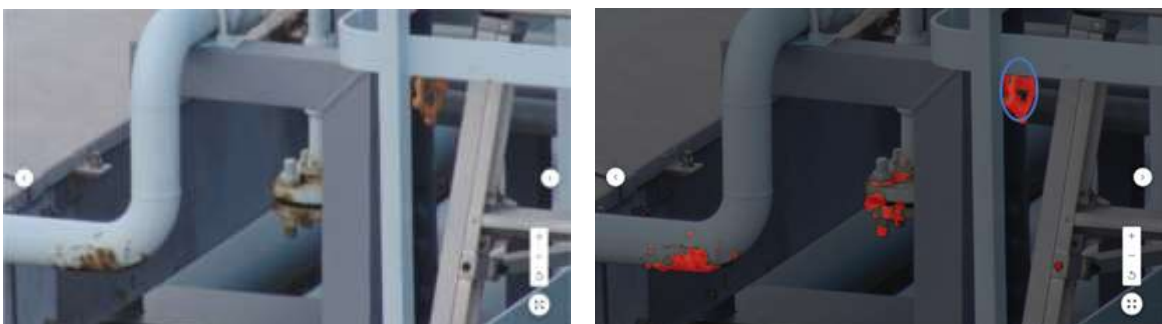


図 170 LPG 貯槽の錆の AI 解析結果

凡例 ●：検知された錆 ●：未検知 ○：誤検知



図 171 LPG 貯槽の基礎のひびの AI 解析結果
 凡例 : 検知されたひび : 未検知 : 誤検知

通常の目視点検で、修繕は不要と判断されるレベルのひびだが、黄色枠部分について、未検知、ただしひびの輪郭は捉えられていた。

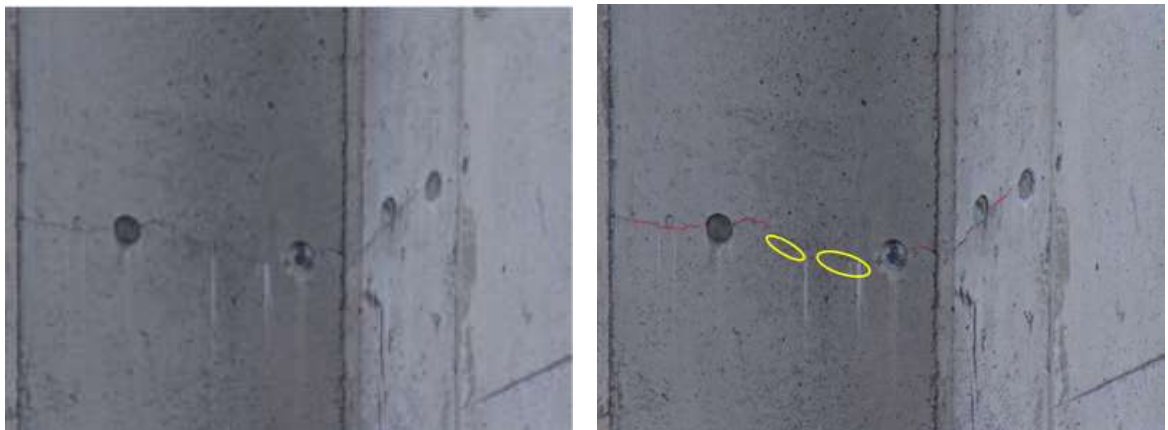
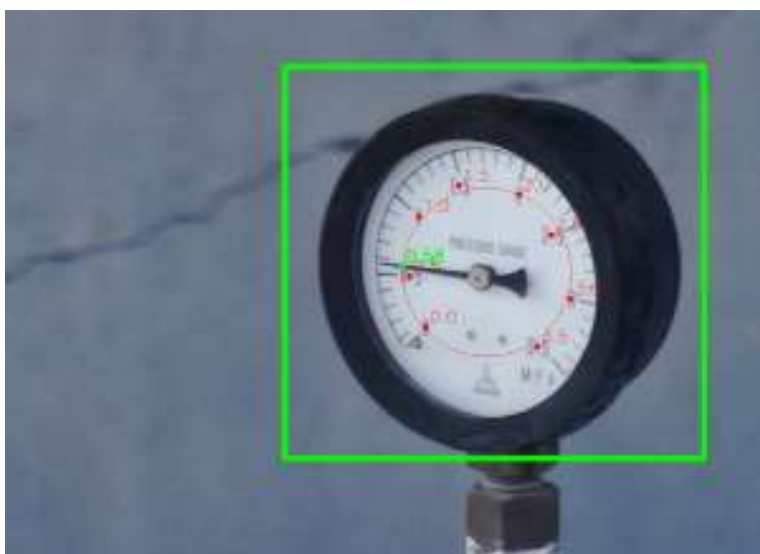


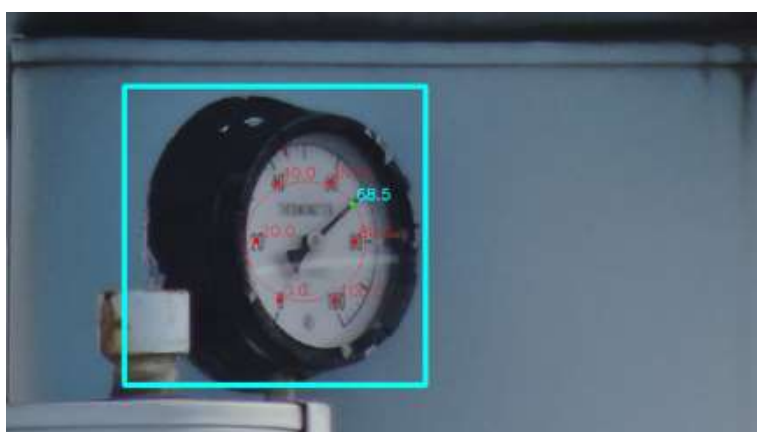
図 172 LNG 貯槽の側面のひびの AI 解析結果
 凡例 : 検知されたひび : 未検知 : 誤検知



メーター読み取り値	0.58
メーター値(目検)	0.58
誤差	0.00

図 173 配管に設置されているメーターの AI 解析結果

斜めの方向だったことで、読み取り値に誤差が生じた



メーター読み取り値	68.5
メーター値(目検)	70.0
誤差	1.5

図 174 LPG 増熱器に設置されているメーターの AI 解析結果

② 事業者からのヒアリング結果

実証を行ったガス事業者に本実証で活用したシステムの精度に関するヒアリングを行い、下記回答を得た。

- ドローンによって撮影した画像の精度自体に問題はなく、想定よりもドローンで確認できる箇所があった。(LP ガス事業者)
- メーターの撮影角度によっては読み取り数値にずれが生じる可能性があるが、日常点検の外観についてはある程度確認可能な精度である。(都市ガス事業者)
- 年に 1 回行う定期自主検査は手作業が発生するため、全ての項目をドローンで代替することは難しいが一部の目視検査においては代替の検討が可能である。(都市ガス事業者・LP ガス事業者)

③ 今後の課題

ガス事業者向けに AI 解析のチューニングは必要であるものの、精度の向上は対応可能である。一部、死角になる箇所等、ドローンでの撮影が難しい箇所は人手の点検との棲み分けの検討やメーターの向きを変更することで、通常の日視点検と同じレベルでドローンによる目視点検に代替することは可能である。

(イ) 汎用性

① 就航率

昨年 2023 年における気象庁及び、都市ガス事業者の風速データから下記条件の場合にドローンの就航ができるものとし、就航率を算出した。

降水量：降雨なし(/1 日)

風速：平均風速 6m/s 以下

【高圧ガス保安法第 35 条の 2 の法令に従う事業者において】

a 対象企業の地域：山梨県大月市

降水量のヒストグラムより、7割強(=263/365)の日の降水量は0であった。

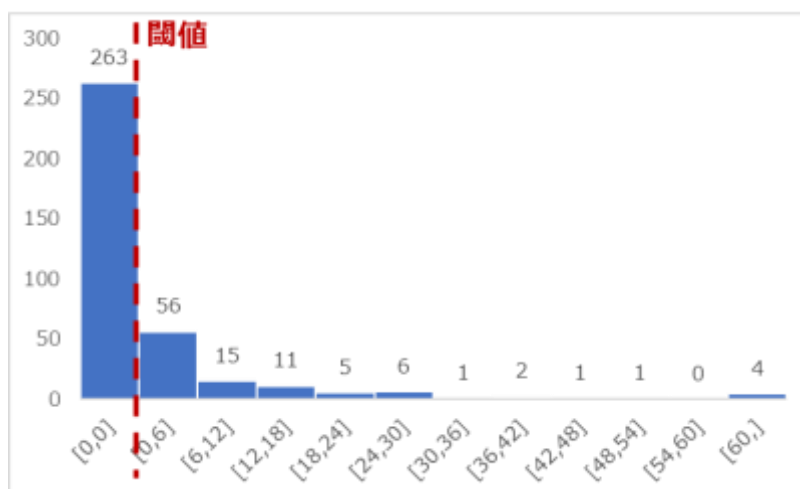


図 175 山梨県大月市における降水量のヒストグラム
(出典:気象庁データ)

また、平均風速のヒストグラムより、全ての日が平均風速 6m/s 以下であった。

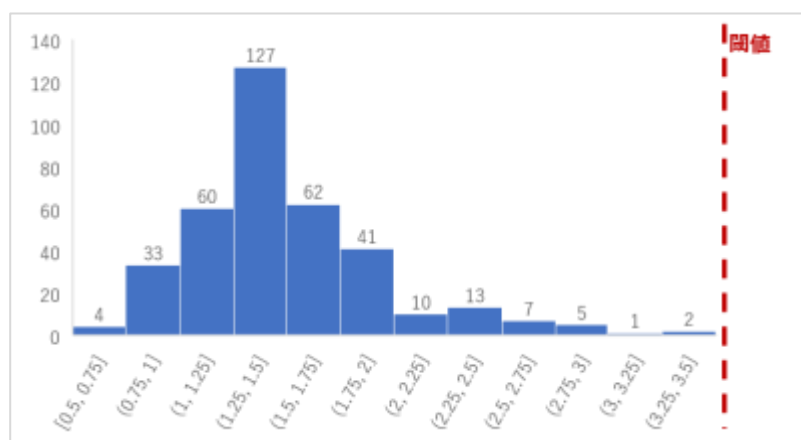


図 176 山梨県大月市における平均風速のヒストグラム
(出典:気象庁データ)

上記条件に合致する日数から、a の地域における就航率は 77%であった。

b 対象企業の地域：山梨県中央市布施

降水量のヒストグラムより、7.5割(=275/365)の日の降水量は0であった。

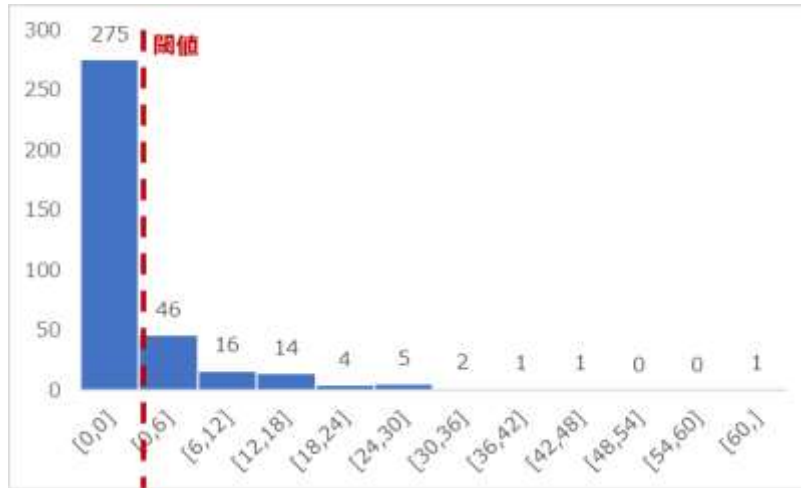


図 177 山梨県中央市布施における降水量のヒストグラム
(出典:気象庁データ)

また、平均風速のヒストグラムより、9.5 割強(=360/365)の日が平均風速 6m/s 以下であった。

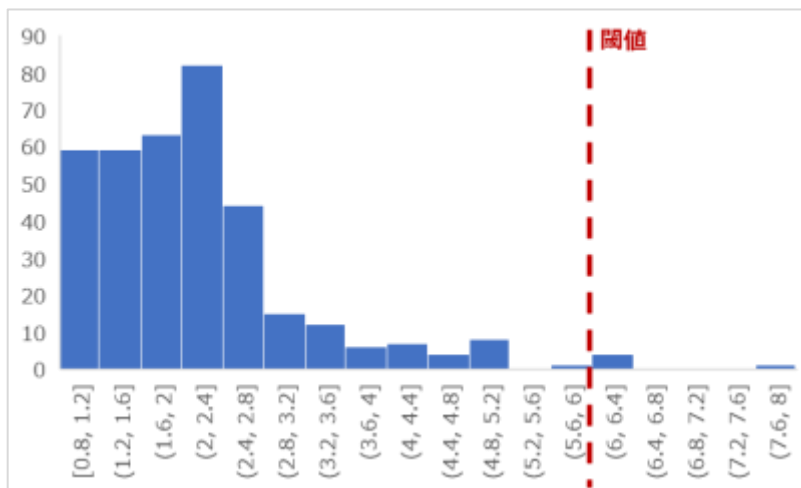


図 178 山梨県中央市布施における平均風速のヒストグラム
(出典:気象庁データ)

上記条件に合致する日数から、b の地域における就航率は 78%であった。

【ガス事業法施行規則の法令に従う事業者の施設】

対象企業の地域：福岡県北九州市

降水量のヒストグラムより、6 割強(=234/365)の日の降水量は 0 であった。

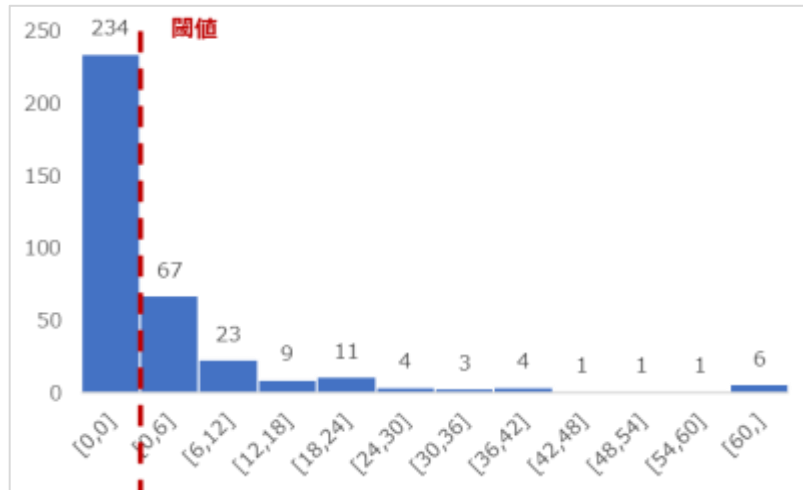


図 179 福岡県北九州市における降水量のヒストグラム
(出典:気象庁データ)

また、平均風速のヒストグラムより、8 割弱(=289/365)の日が平均風速 6m/s 以下であった。

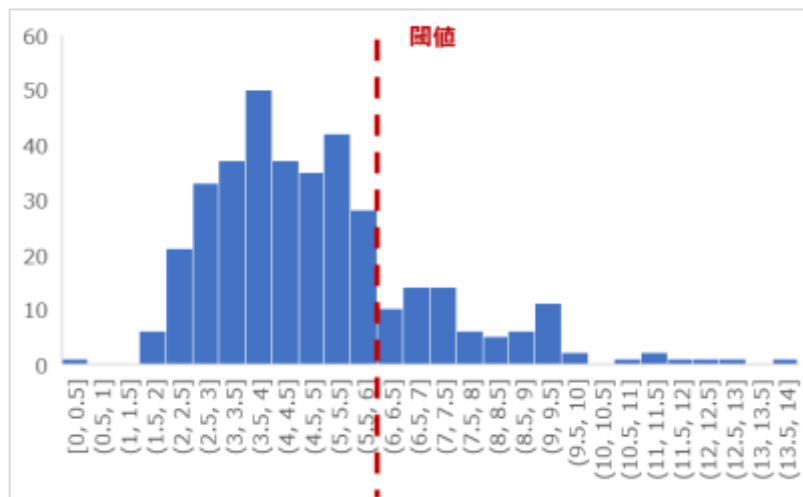


図 180 福岡県北九州市における平均風速のヒストグラム
(出典:都市ガス事業者からのデータ)

上記条件に合致する日数から、本実証で対象とするガス事業法施行規則の法令に従う事業者の地域における就航率は 58%であった。

② ドローンの飛行が可能な地域

航空法上の制約が厳しい地域・場所以外であること。下記条件を満たす区域ではドローン飛行の難易度が低い(2024/2 時点)

- 上空 150m 未満
- 空港・空港周辺の上空以外(主要空港：24km 以内、それ以外：6km 以内は禁止)

- 人口集中地区の上空以外
- 国の重要施設とその周囲約 300m以外
- 国の重要文化財周辺以外
- 自治体が管理する公園以外
- 他人の私有地以外

③ 事業者からのヒアリング結果

実証を行ったガス事業者にヒアリングを行い、本実証で活用したシステムに関して、下記回答を得た。

- ・ 汎用性の高い技術である。弊社の他工場でも使用可能なシステムである。(LP ガス事業者)
- ・ グループ内の工場内でドローン飛行が不可の地域はない認識のため、汎用性はある。(都市ガス事業者)

④ 十分な汎用性か

就航率の結果だけで汎用性の良し悪しの判断はできないが、ガス事業者の実際の設備において一定の就航率が見込めることが分かった。次項の経済性の評価では、就航率の結果をもとに、デジタル技術の費用対効果を算出し、その結果が経済的に優位かどうかを評価する。また、ヒアリングの結果から、今回実証したシステムは特定の事業者に特化したものではなく、ガス業界に留まらずプラントなどに適応可能なシステムであると考えられる。

(ウ) 経済性

ドローンによる定期自主検査やその他の点検において、都市ガス事業者とLPガス事業者に対し、現行の人手による作業コストと、自律飛行を現場に導入することを想定し、ドローンドックを使った際のコストでコスト差を比較・検証し、費用対効果から経済的に優位かどうかを評価した。

① コスト計算における前提

- ・ 今回、算出の対象とするガス事業者の対象敷地面積

表 20 試算対象のガス事業者の敷地面積

従っている法令	実証フィールドの敷地面積
ガス事業法施行規則第 24 条、第 92 条、第 148 条	約 326,000m ²
高圧ガス保安法第 35 条の 2 (山梨県中央市布施の事業所)	約 4,000 m ²

- ・ ドローンドックにおける初期費用と運用費用(年間)

ドローンドックの初期費用は国税庁にて発表しているドローンの耐用年数 5 年を減価償却(5 年)で考慮し、その他運用費をそれぞれ計算して、コストを算出する。

ドローン導入の初期費用は 1 年あたり、2,018,000 円(=合計金額/5)である。

表 21 ドローンドック(遠隔運航)導入にかかる初期費の概算費用

カテゴリ	品目	概算コスト (円)
本体	ドローンドック(Matrice300とDJIドッグ)	8,000,000
ネットワーク	本体(Starlink Business)	440,000
設定費用・手数料	セットアップ費用	500,000
	機器搬送・設置	500,000
	柵の設置(ドローンの保管用)	100,000
	飛行申請	50,000
	飛行準備費用※	1,000,000
合計		10,590,000

※ルート設定やバーチャルフェンスのような立ち入り制限を行う設定作業

また、ドローンドックの維持費は年間 1,020,000 円である。

表 22 遠隔運航の維持費の概算(年間)

カテゴリ	コスト (円)
機体メンテナンス費用(Matrice300)	120,000
ネットワーク費用(Starlink Business)	780,000
電気代	120,000
合計(※上記の加算)	1,020,000

• 人件費

ガス事業者のヒアリング結果及び近年の物価上昇に伴い、人件費(点検コスト)の高騰も考慮した金額で算出する(参考:令和4年賃金構造基本統計調査、第1表 年齢階級別きまって支給する現金給与額、所定内給与額及び年間賞与その他特別給与額、民公区分:民営事業所,産業:F34 ガス業)

表 23 人件費(点検コスト)

項目	金額 (円)
人件費(時給)	5,000

• 就航率

上記、(イ)の就航率から算出した値を使用する

表 24 試算対象のガス事業者の事業所における稼働日・就航率

対象ガス事業者	稼働日	就航率
都市ガス事業者	356	78%
LP ガス事業者(山梨県中央市布施)	110	58%

② 都市ガス事業者における費用対効果

従来の点検費用と、ドローンドックによる自律飛行の点検費用を比較し、費用対効果を算出した。

従来の点検コストに関して、

ヒアリング結果を基に、従来の点検時間を概算し、人件費を掛けて点検コストを概算したところ、年間 10,950,000 円の点検費用であった。

表 25 従来の点検時間の試算

項目	数値
A11_点検時間(h)	1
A12_巡回回数	3
A13_人数	2
A14_日数	365
A1_合計点検時間(上記の掛け算)	2,190

表 26 従来の点検コスト

項目	金額 (円)
A1_合計点検時間×人件費(5,000)	10,950,000

次に、ドローンドックを使った点検コストに関して、

ドローンを使って点検が可能な日(A2)と雨の日や強風の日にはドローン飛行ができない日(A3)それぞれの場合において時間を試算し、人件費を掛けて点検コストを概算したところ、年間 7,774,500 円の点検費用であった。

表 27 ドロンドックを利用した際にかかる人手による点検時間の試算

条件	項目	数値
A2_ドローン飛行が可能な日に必要な人手による点検 (各項目の掛け算)	A21_点検時間	1
	A22_巡回回数	3
	A23_人数	2
	A24_日数	365
	A25_就航率	0.58
	A26_削減割合	0.5
A3_ドローン飛行が不可の日に必要な人手による点検 (各項目の掛け算)	A31_点検時間	1
	A32_巡回回数	3
	A33_人数	2
	A34_日数	365
	A35_(1-就航率)	0.42
A2A3_合計時間(A2 + A3)		1,554.90

※削減割合：点検対象の各設備の点検内容は主に、腐食・割れ、表示塗装などの目視検査、メーターの読み取り、基礎及び据付状態(水平状態)の確認、作動状況の手動確認であった。その内、目視検査とメーターの読み取りがポート付きドローンで代替が可能である。設備の設置場所によっては死角になる箇所も存在すること、ガス事業者によって定める検査項目の多少の差異があることを考慮し、削減割合を 0.5 としている。(都市ガス事業者にもヒアリングし再確認済み)

表 28 ドロンドックを利用した際にかかる人手による点検コスト

項目	金額 (円)
A2A3_合計時間(A2 + A3)×人件費(5,000)	7,774,500

よって、ドロンドックの初期費(表 29)及び、維持費(表 30)、人件費から、ドロンドックを活用した点検にかかる総コストは年間 10,812,500 円であった。

表 29 ドロンドックを利用した際にかかる総点検コスト

項目	金額 (円)
初期費(表 29)+維持費(表 30)+人手による点検コスト(表 36)	10,812,500

よって、従来の点検コストと、ドロンドックを活用した際の点検コストを比較すると、137,500 円の効果が期待できる。

また、ドロンドックの活用及びデータの蓄積により、現状の設備の状態を以前と比較が可能になるため予防保全の効果があると考えられる。そのため、試算した効果額に加え、より多くの効果が期待できる。

表 30 従来の点検とポート付きドローンを活用した場合のコスト差

項目	金額（円）
A1_従来の点検にかかるコスト(年間)	10,950,000
A2A3_ポート付きドローンを活用した際の点検コスト(年間)	10,812,500
差分(A1-A2A3)	137,500

③ LP ガス事業者において

従来の点検費用と、ドローンドックによる自律飛行の点検費用を比較し、費用対効果を算出した。

従来の点検コストに関して、

②のガス事業者と比較し、点検すべき敷地面積が狭いため、点検時間や人数、巡回回数について、少なくなっているが、いずれも事業者へのヒアリングを基に計算した。

また、LPG を扱うため、夏季の稼働が無い。稼働分のみ日数をカウントし従来の点検コストを算出した。

人件費を掛けて点検コストを概算したところ、年間 1,375,000 円の点検費用であった。

表 31 従来の点検時間の試算

項目	数値
B11_点検時間(h)	0.5
B12_巡回回数	5
B13_人数	1
B14_日数	110
B1_合計点検時間(B11×B12×B13×B14)	275

表 32 従来の点検コスト

項目	金額（円）
A1_合計点検時間×人件費(5,000)	1,375,000

次に、ドローンドックを使った点検コストに関して、

ドローンを使って点検が可能な日(B2)と雨の日や強風の日はドローン飛行ができない日(B3)それぞれの場合において時間を試算し、人件費を掛けて点検コストを概算したところ、年間 838,750 円の点検費用であった。

表 33 ポート付きドローンを利用した際にかかる人手による点検時間の試算

条件	項目	数値
B2_ドローン飛行が可能な日に必要な人手による点検	B21_点検時間	0.5
	B22_巡回回数	5

(各項目の掛け算)	B23_人数	1
	B24_日数	110
	B25_就航率	0.78
	B26_削減割合※	0.5
B3_ドローン飛行が不可の日に必要な人手による点検 (各項目の掛け算)	B31_点検時間	0.5
	B32_巡回回数	5
	B33_人数	1
	B34_日数	110
	B35_(1-就航率)	0.22
B2B3_合計時間(B2 + B3)		167.75

※削減割合：点検対象の各設備の点検内容は主に、腐食・割れ、表示塗装などの目視検査、メーターの読み取り、基礎及び据付状態(水平状態)の確認、作動状況の手動確認であった。その内、目視検査とメーターの読み取りがポート付きドローンで代替が可能である。設備の設置場所によっては死角になる箇所も存在すること、ガス事業者によって定める検査項目の多少の差異があることを考慮し、削減割合を 0.5 としている。(LP ガス事業者にもヒアリングし再確認済み)

表 34 ドローンドックを利用した際にかかる人手による点検コスト

項目	金額 (円)
B2B3_合計時間(B2 + B3)×人件費(5,000)	838,750

よって、ドローンドックの初期費(表 29)及び、維持費(表 30)、人件費から、ドローンドックを活用した点検にかかる総コストは年間 3,876,750 円であった。

表 35 ドローンドックを利用した際にかかる総点検コスト

項目	金額 (円)
初期費(表 29)+維持費(表 30)+人手による点検コスト(表 42)	3,876,750

よって、従来の点検コストと、ドローンドックを活用した際の点検コストを比較すると 2,501,750 円のマイナスでコストメリットは見込めなかった。

一方で、本実証で対象とするガス事業法施行規則の法令に従う事業者における費用対効果と同様、ドローンドックの活用及びデータの蓄積により、現状の設備の状態を以前と比較が可能になるため予防保全の効果があると考えられる。そのため、コストメリットの額は試算値以下に抑えられると考えられる。

表 36 従来の点検とポート付きドローンを活用した場合のコスト差

項目	金額 (円)
B1_従来の点検にかかるコスト(年間)	1,375,000
B2B3_ポート付きドローンを活用した際の点検コスト(年間)	3,876,750
差分(B1-B2B3)	- 2,501,750

④ 事業者からのヒアリング結果

経済性の面からドローンの代替について各ガス事業者にヒアリングを行った結果、対象の点検のみならず、他業務と組み合わせることで、ドローン導入の余地があることが分かった。

- 定期自主検査だけでなく、巡視・日常点検でドローンを活用できるとよりコストの面で導入に対するハードルが下がる。(LP ガス事業者)
- 定期自主検査のデジタル代替は、ドローンだけでは難しい(都市ガス事業者)
- ドローンを活用した点検を取り入れると、点検内容を画像で、かつ 1 カ所に蓄積できるため、トラブル等があった際に簡単に確認できるメリットがある。(LP ガス事業者)
- 他の保有施設(太陽光パネル等)の点検や地震等で施設が液状化していないか安全に確認する方法に使えると良い。(LP ガス事業者)

⑤ 今後の課題

事業者の規模や目視点検の量によって、ドローンの導入のコストメリットが変わる。対象の法令における点検だけでなく、他、事業者が抱える点検や他施設への併用、各自治体と連携した活用等でコストを下げることが必要である。

また予防保全における効果が期待できることから、今後、その効果額についても加味した上で試算を検討していくことも有用である。

(工) 安全性

① 安全性

検証項目 D-1, D-2, D-3 の結果より、自律飛行中に自律飛行喪失やバッテリー残量低下、障害物のトラブルがあった場合、それらを回避するための機能が正しく機能し、安全にホームポイントへ帰還できたことを確認した。

- 検証項目 D-1：自律飛行機能を喪失した際、安全に帰還できるか

今回は、自律飛行が喪失した状況を作り出すことが難しかったため、強制的に自律飛行機能を遮断することで、実際の自律飛行送出状態を作り実施した。複数回にわたり自律飛行喪失の模擬状態を作り、手動操縦に切り替える操作を行ったが、問題なくマニュアル操縦モードに切り替わったため、自律飛行喪失した際も安全に帰還できることを確認できた。



図 181 ドローンのコントローラー上での(左)自律飛行中と(右)自律飛行機能喪失後のマニュアル飛行中の飛行の様子

- 検証項目 D-2：バッテリー残量低下時に安全に帰還できるか

今回、使用したドローンでは、特に事前の設定無しに、飛行距離に合わせ機体が自動計算しバッテリー残量 14%以下になった際にバッテリー残量低下の通知が表示され、問題なく自動的にホームポイントに帰還できた。帰還後のバッテリー残量は 12%であったため、帰還中に何か予測不能な問題が起こっても、ホバリング/迂回ルートの飛行が十分可能であるため、運航者がバッテリー残量確認を怠るなどヒューマンエラーが発生した際においても安全な運航が可能であると考えられる。

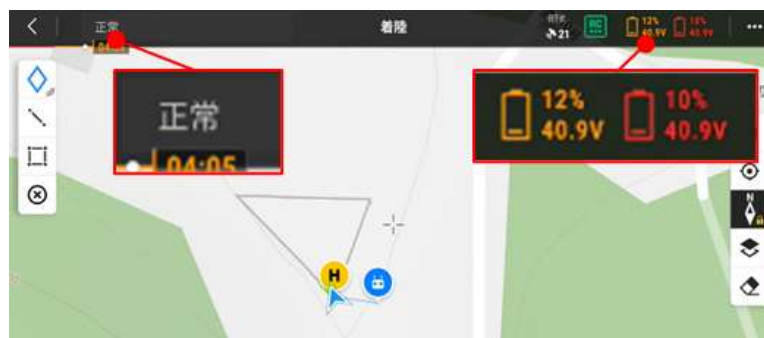


図 182 バッテリー残量低で最終的に RTH した画面

- 検証項目 D-3：障害物への衝突を防止し、安全に運航できるか

設定したルートを自動で飛行している中で、自らが近づいている障害物に検知し、自動的に停止・ホームポイントへの帰還が問題なく、安全に作動することを確認できた。今回は固定の大きな障害物であったため、今後は動物や人など動くものや、ワイヤー等の小さい/細くて検知が難しい障害物でも検知が可能か、検証が必要である。



図 183 衝突防止機能が働いている様子

② 事業者からのヒアリング結果

実証中のドローンの飛行安全性についてガス事業者にヒアリングを行った。

- 実証中の検証項目 A、Bを確認する限り、飛行は安定しており十分に安全に運航できると感じた。(LP ガス事業者)

③ 今後の課題

ワイヤーなどのセンサーに反応しづらい障害物などのへの衝突や防爆観点での立ち入りを防ぐ方法について今後も検討が必要である。

(オ) 展開の可能性

① 展開可能性

ガス事業者と類似の設備（貯槽、配管など）を保有している業界に適応可能と考えられる。化学プラントや鉄鋼業、重工業、発電所など、防爆エリアがあり屋外での点検が求められる業界への適用が可能と考えられる。

② 事業者からのヒアリング結果

今回対象とした点検項目以外に活用の可能性のある業務について、以下、ガス事業者へのヒアリングを通じて候補を受領した。

- 太陽光発電所の点検
 - ガス会社や発電所は自然エネルギーに関心が高く、保有の可能性が高いため（都市ガス事業者）
- 液状化した際の状況把握
 - 災害時の導管状態を把握したいため（LP ガス事業者）
- 宅地のメーターに繋がる導管の巡回

（本事業の対象法令である、ガス事業法施行規則第 24 条に係る点検の一つとして LP ガス事業者が実施している点検内容）

 - 掘削の可能性のある宅地周辺の水道管の工事やリフォーム(屋内含む)は、施工業者から国への申請があるものの、ガス事業者には連絡がない（LP ガス事業者）
 - 過去に、誤って導管に危害を加え事故に繋がった例があるため、現在では週 1 回、

宅地のメーターに繋がる導管の巡回を行っている（LP ガス事業者）

- その巡回をドローンで代替することで、掘削・導管に危害が及ぶ可能性のある工事の早期把握に繋がるため（LP ガス事業者）

③ 今後の課題

今回の実証で活用したシステムを最終的に展開する場合、人手の点検工数を減らす観点で、無人自動運航が望ましい。本実証ではドローンドックを用いた自動運航から AI 解析までの一連の自動化を実施しておらず、現場への導入では一連の点検作業の自動化まで行われることが望ましいため、ドローンドックの活用も視野に入れた検討が必要である。

(2) 高圧ガス保安法第 35 条の 2 に係る設備の定期自主検査に係るデジタル技術の適用可能性

本実証の対象法令である定期自主検査の中の目視検査については、防爆エリア外からでもドローンで撮影したデータを人間の目で確認することや AI 解析することを通じて客観的に錆やひびの状態を判断できた。そのため、目視検査の内、ドローンの撮影の妨げになるような遮蔽物がない場所にある、錆やひび等の外観の腐食状態の確認や、メーターの数値読み取りにおいて、通常の見点検と同じレベルでドローンや AI 解析を活用して点検が可能であることが確認できた。定期自主点検の目視検査項目をドローンで代替するのみでは、対象となる検査項目が少なく、ドローンの稼働日数が少ないため、投資対効果が見込めない可能性が高く、日常・巡視点検と組み合わせた活用が必要である。定期自主検査の他の検査項目においては配管内部の点検などドローン単体では実行が難しい項目があるため、IoT 機器などの組み合わせを検討する必要がある。運用にあたっては操縦者によるドローンの点検ではなく、ドローン及びドローンドックを使った自律飛行を実施することにより、点検者の工数を減らすことは可能である。また自律飛行で撮影した写真も毎回ほぼ同じ写真が撮影できることから、運用開始時に必要なズーム倍率、画角等を設定することで、通常の見点検と同じレベルで見点検が可能となる。また、ドローンを日常的に飛行させることにより時系列での撮影データ管理が行えるため、状態比較が可能となり、修繕の可否等、必要な対応策を考える際の判断材料となり得る。

(3) ガス事業法施行規則第 24 条、第 92 条、第 148 条に係る施設等の点検に係るデジタル技術の適用可能性

本実証の対象法令である、定期自主検査及び日常・巡視点検の目視検査においては、防爆エリア外からでもドローンで撮影したデータを人間の目で確認することや AI 解析することを通じて客観的に錆やひびの状態を判断できた。こちらも高圧ガス保安法第 35 条の 2 と同様、目視検査の内、ドローンの撮影の妨げになるような遮蔽物がない場所にある、錆やひび等の外観の腐食状態の確認や、メーターの数値読み取りにおいて、ドローンや AI 解析を活用した点検が可能であることが確認できた。ガス事業法施行規則における点検は日常・巡視点検も対象に含まれることから、ドローンを活用した点検を取り入れることで、作業者の点検に要する時間の縮減を図ることができる可能性がある。さらにドローンドックを使った点検に切り替えることで、コストメリットも生まれることが試算で分かった。施設が大きく、かつ海沿いにある、点検が難しい設備ほど、点検に要する時間が増えるため、効率の効果が大きくなることが想定され、今後より一層の

省力化に繋がる可能性がある。一方で、検査/巡視・点検の他の項目においては配管内部の点検などドローン単体では実行が難しい項目があるため、IoT 機器などとの組み合わせを検討する必要がある。

用語集

用語	定義・解説
DCS(分散制御システム)	工場やプラントの生産現場に導入されている工業用コンピューターシステムのこと。工場全体を監視して制御するシステム
GPS	Global Positioning System の略称。複数の中軌道人工衛星からの電波を受信し、到達速度の差分から伝搬距離を求め、3次元測位を行うことにより測位者の位置を推定する
ISMバンド	Industrial Scientific and Medical Band（産業、化学、医療バンド）の略。国際電気通信連合により産業、化学、医療の目的に利用することが定められた周波数帯
0000a	米国環境保護庁(EPA)が定めるメタンガス排出規制の規格において 0000a クラスを取得（参考： https://www.ecfr.gov/current/title-40/chapter-I/subchapter-C/part-60/subpart-0000a ）
RTK	Real Time Kinematic の略称。GPS 衛星からの情報だけではなく、別に設置してある基準局から補正データを受信し、GPS の測位精度をセンチメートル単位まで引き上げる技術
アノテーション機能	関連情報の注釈を付記する機能
運航管理システム	ドローンの飛行計画作成や飛行状態の監視を含むメータードローンの運航を自動で安全に行うためのシステム
スイベル	充電機の上部にある回転部分のこと
データマネージメントシステム	ドローンから送信されたデータの保管や AI での画像解析を行い、その結果を設備管理者などユーザーに提供するためのシステム
ドローン	航空法 第 2 条 22 項の無人航空機に該当するもの
ドローンドック	自律飛行機能を具備したドローンを格納し、充電やデータ伝送のハブとなる、ドローン格納庫のこと