

【別紙2】

プラント設備等における ドローンを活用した点検事例集

令和4年3月
厚生労働省

<はじめに>

厚生労働省では、令和3年度に「化学設備等の定期自主検査におけるドローン導入マニュアル（以下、導入マニュアル という。）」を作成し、プラントにおけるドローンの導入に係る留意点や化学設備等の定期自主検査において画像による目視検査を実施する上での留意点を整理しました。

導入マニュアルの作成に合わせ、ドローンの活用方法や導入に係る検討を紹介するために、石油精製、石油化学、化学等の事業者にご協力を頂き、実際の現場でのドローンの活用状況を飛行事例として本事例集にまとめました。

本事例集では、ドローンを先行して活用する事業者が、どのような事前検討を行ったか、実際に用いた使用機材や運用事業者、どのようなリスクアセスメント・リスク対策を実施したか、さらに具体的に得られた画像等のデータ・点検結果等について整理をしています。

対象設備等での新たにドローン導入を考える事業者の方々にとって、より検討を深める一助となれば幸いです。

目次

1. 化学設備等の点検に資する活用・検証事例

- UTドローンを活用したタンクの肉厚測定の検証 P.2
(出光興産株式会社 千葉事業所)
 - ✓ UTドローンを活用して肉厚測定の検証を実施した事例
- マイクロドローンを活用した石油精製設備インターナル構造物の点検 P.9
(ENEOS株式会社)
 - ✓ 手のひらサイズの小型ドローンを活用し、複雑な構造を有する設備内部の点検を実施した事例
- コーンルーフタンク外面の腐食点検 P.18
(三井化学株式会社 市原工場)
 - ✓ タンクの外面の腐食について視覚による目視点検として十分に活用可能な画像を取得した事例

2. その他 活用事例

- 避雷針設備の点検 (花王株式会社 和歌山事業場) P.28
 - ✓ 社内で運用規定を定め、従来の目視では確認できなかった高所設備に対して詳細検査を実施した事例
- サーモカメラによるプラント発熱部検出 P.43
(花王株式会社 愛媛工場)
 - ✓ サーモカメラを搭載したドローンを活用し発熱部の検出を実施した事例
- 工場敷地境界パトロール P.44
(住友化学株式会社 精密化学品工場)
 - ✓ 可視光、赤外線カメラを併用し、昼夜を問わず巡回を実施した事例

目次（続き）

参考資料

- 対応表 P.52
 - ✓ 「化学設備等の定期自主検査におけるドローン導入マニュアル」及び「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」と本事例集の対応を整理
- 風速想定と落下範囲予測について P.53
（プラントにおけるドローン活用事例集Ver3.0 より）
 - ✓ 十分な離隔距離についての考え方を整理
- プラントの点検等に係る技術動向について P.55
 - ✓ ドローン等を活用したプラント点検に係る新技術の情報を整理

1. 化学設備等の点検に資する活用・検証事例

本章では、国内の石油精製、石油化学、化学等のプラント事業者による化学設備等の検査へのドローンの活用・検証事例を紹介する。

UTドローンを活用したタンクの肉厚測定の検証

本事例の特徴

- UTドローンを活用しタンク内部のUT検査（肉厚測定）の検証を実施
- 点検に利用可能なデータを取得し、高所作業の削減、異常の早期検出を確認

飛行概要

概要

2021年2月2日及び2022年2月15日 出光興産株式会社 千葉事業所において、UTドローンを活用したタンクの肉厚測定の検証が実施された。

導入の背景

配管や塔槽等の経年腐食を管理するために、定期的に超音波探傷検査（UT）を実施しているが、高所の検査については足場の設置や作業員の安全対策等が必要となり、費用も時間も非常にかかっている。そこで、UT作業について、検査機器を搭載したドローンによる代替可否の検証を実施した。

また、設備健全性評価に必要な定量データで最も重要な情報の一つとして『板厚』がある。ドローンで『板厚』データを正確に採取できれば、定期的なUTとしての活用だけでなく、目視検査等の幅広い検査業務への適用に繋がる事を期待し検証を実施した。

ドローン運用事業者

外部委託：テラドローン株式会社

使用機器 (2022年2月15日実証 利用機器)

ドローン

【機種】 Terra UT Drone (テラドローン社)

【機体サイズ】 730×480×150mm (機体本体のみ)

【重量】 4.28 Kg (バッテリー, UTモジュール含む最大重量)

【操縦方法】 操縦者によるマニュアル操作

【連続飛行時間】 ~15分

【測定点】 前処理 (ケレン) なし 最大300点/日

前処理 (ケレン) あり 最大200点/日

※離陸ポイントから測定点までの距離や測定点の範囲要求精度などによって決まる。

【特徴】

UTドローンにはブラシが搭載されており、測定前にケレン作業を実施が可能



※本事例における測定の様子ではない

Terra UT Drone

各種法令の申請

本実証は休止設備の内部での飛行のため、航空法をはじめとする法令の申請は不要であった。

関連機関との事前協議

飛行にあたり以下の社内及び社外機関への協議及び説明を実施した。

協議・連絡先	内容
社内運転管理部門	飛行計画の説明、当日のスケジュールや現場対応の説明
社内安全管理部門	消防への説明
社内法務部門	契約書締結における内容の協議、精査、確認の実施

飛行目的・飛行計画の設定

【目的】 UTドローンの①タンク（機器）内部での安定飛行・測定の実施確認、
②測定肉厚値の精度確認、③1日あたりの実施点数の確認

【撮影方法】 【撮影対象】 撮影はなし

【飛行区域の状態】

休止タンクの内部であり、爆発性雰囲気等の危険性がないエリアを選定

【飛行日時】 初回 2021年2月2日、第2回 2022年2月15日

【運用体制】 テラドローン社3人（操縦者、測定・計測者、監視人）

出光興産2人（現場確認、検証データの確認）

リスクアセスメント・リスク対策

リスクアセスメントは、出光興産とテラドローンで実施をし、「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 Ver2.0」におけるリスク要因（共通と屋内特有）を網羅した。以下にその一部を整理する。

1. ドローンの飛行に係るリスクアセスメント・リスク対策

① 設備内部の為、磁気センサーの乱れや電波障害が発生し、ドローンが墜落する。

⇒ 操縦不能になった際の対策として、以下について検討の上、関係者への周知を行う。

⇒ 通信状況の逐次確認及び通信が途絶する可能性がある場合の作業を中止する。

② 設備内足元に配管が配置されており、躓き転倒の可能性がある。

⇒ タンク内部への光源設置、各人ヘッドライトを装備点灯し足元に十分注意する。

リスクアセスメント・リスク対策（続き）

1. ドローンの飛行に係るリスクアセスメント・リスク対策（続き）

- ③ タンク底面の隅に大量の錆が堆積しておりドローンの気流によって巻き上げてしまい、視界不良やドローンに悪影響を及ぼす可能性がある。

⇒ 堆積した錆をブルーシートで覆い、気流による巻き上げを最小限とする。

2. UTドローン検証飛行における特記対策事項

① 飛行前のアセスメント飛行

- 機体の飛行準備完了後に低空（1～2m）でホバリングさせ、以下の所定の動作を行い機体動作に不良がないことを確認し安全に飛行を行うために実施する
 - 機体前後左右への水平移動、上昇、下降動作
 - 時計回り・反時計周り方向へ旋回動作
 - 飛行時の電波強度

② タンク内部への光源設置（作業員の足元等を照らすことを目的とする）

③ 離発着地点の明確化

④ 機体操縦者、監視人で飛行ルートを決定後、周囲のすべての作業員に周知

⑤ 飛行対象周辺の立ち入り禁止措置

3. その他

① 飛行前のKY活動の実施

② 作業員への作業内容、注意事項の周知、徹底

ドローンを活用した点検等の実施（飛行）

飛行前・飛行中の確認事項

出光興産：現場の環境確保（酸素確認、可燃性物質の有無）

テラドローン社：飛行／測定に関する確認

機体チェックシート（テラドローン社）

タイミング	対象	項目	確認
機体点検	機体	ねじの緩み、外れている箇所がないこと	<input type="checkbox"/>
		プロペラに外観上の傷がないこと	<input type="checkbox"/>
		配線、アンテナに外観上の傷がないこと	<input type="checkbox"/>
		配線、アンテナがしっかりとフレームに固定されていること	<input type="checkbox"/>
		機体フレーム、UTアームに外観上の傷がないこと	<input type="checkbox"/>
		カプラントチューブに詰まりがないこと	<input type="checkbox"/>
		コネクタが正しく接続されていること	<input type="checkbox"/>
		機体中心と重心位置が一致していること	<input type="checkbox"/>
	コントローラー	スティック操作に引っ掛かりなどの異常がないこと	<input type="checkbox"/>
		機体操作コントローラーがモード“F”に設定されていること	<input type="checkbox"/>
		NDTコントローラーがモード“P”に設定されていること	<input type="checkbox"/>
	タブレット	FPVモニタータブレット／NDTタブレットがしっかりとマウントされていること	<input type="checkbox"/>
		FPVモニタータブレット／NDTタブレットがUSBケーブルで接続されていること	<input type="checkbox"/>
	UTアーム	機体上部のスライダーにつまみネジで固定されており押しつけ力で位置が動かないこと	<input type="checkbox"/>
		角度インデックスホルダーがつまみネジで固定されており動かないこと	<input type="checkbox"/>
		シリンジ内にカプラントが充填されていること	<input type="checkbox"/>
	バッテリー	ドローン本体バッテリーが満充電であること	<input type="checkbox"/>
		機体操作／NDTコントローラーが満充電であること	<input type="checkbox"/>
		FPVモニタータブレット／NDTタブレットが満充電であること	<input type="checkbox"/>
		FPVゴーグルバッテリーが満充電であること	<input type="checkbox"/>
電源投入時	機体	機体本体から異音が生じていないこと	<input type="checkbox"/>
		機体操作／NDTコントローラーと機体が接続されており電波強度に問題がないこと	<input type="checkbox"/>
	NDT機器	FPVゴーグル／NDTタブレットに映像が転送されていること	<input type="checkbox"/>
ホバリング確認	機体	対比試験片にて校正を行い測定値が公称精度内であること	<input type="checkbox"/>
		低空(1-2m)でホバリングを行い、機体挙動に異常がないこと 飛行中の電波強度をモニタリングし強度に問題がないこと	<input type="checkbox"/>



すべての項目において異常がないことを確認し、飛行を行うこと

ドローンを活用した点検等の実施（測定）

測定のプロロー

- ① ドローンの飛行
 - ② 測定点へ位置合わせ（機体位置微調整）
 - ③ 測定点の前処理（ケレン）
 - ④ 測定点へ接触媒質（カプラント）を塗布
 - ⑤ 測定点へ探触子を押し当てて測定
 - ⑥ データ取得
- ②～⑥を繰り返す（10分程度 ※連続飛行時間）
- ⑦ ドローン着陸
 - ⑧ バッテリー交換&カプラント補充
- ①からの作業を繰り返す
- 出光興産が事前に測定点についての指示書を作成した。併せて、当日の飛行に立ち会い逐次指示を出した。
 - 測定の際には、ドローンに搭載されたカメラの映像+ドローンそのものを目視によって捉えることにより実施をしている。
 - 測定点周りに特徴点がない場合（測定点が分からない場合）は、地上よりレーザーポインターや墨出し器を使用し測定点を示した。



実証の様子（2021年2月2日）

ドローンを活用した点検等の実施（測定）

測定結果

【測定概要】 84か所／日（2021年2月2日実証時）

※ スペック上では最大300点／日

【精度】 スクリーニング検査、詳細検査に利用可能な精度を確認

【測定が難しい場所】

- 本体の1 m以内に障害物がある
- 余盛が残っている溶接線近傍
- 厚みのあるスケール付着部
- 腐食が激しい表面

活用のメリット

- 高所作業の減少による人の作業安全向上
- 不具合の早期発見
- 緊急時の早期現状確認
- 従来の人による検査に対し、約1/4のコストで実施可能（本実証の場合）

今後の活用

- 屋外、高所での活用を行っていきたい。タンクの側板、煙突、塔槽類、配管等に活用を考えている。

課題

- 測定精度の向上（測定ポイントの再現性向上、JISに基づいた機器の校正、NDI有資格者、資格者アンダーでの飛行体制確立）
- 測定データの提出、記録（検査会社が作成する報告書と同水準の報告書作成）
- 搭載光源の強化
- 連続飛行時間の向上
- 活用範囲拡大に向けた取り組み（屋外での飛行検証、防爆対応機の開発、機器の小型化）

マイクロドローンを活用した石油精製設備 インターナル構造物の点検

本事例の特徴

- FPV遠隔操縦方式のマイクロドローンを活用し、複雑な構造を有する機器内部の一次点検を実施
- 詳細点検範囲の絞り込みが可能となり、時間短縮・工事費節減・危険作業の最小化等が実現

飛行概要

概要

ENEOS 株式会社では、各製油所において、マイクロドローンを活用して石油精製設備インターナル構造物の点検を実施している。本事例はそのうちの一つである。

導入の背景

石油精製設備の大型圧力容器の内部の高所に取り付けられたインターナル構造物（機能部品）は、数年に1回の定期点検時には、破損、脱落等の構造体の状況を点検して必要な補修を行なう。この点検を行なうためには、対象物に対し、危険を伴う容器内部の仮設足場組み作業と足場上での点検作業が必要となる場合がある。このようなケースにおいて、マイクロドローンを用いた「一次点検」により、仮設足場組み&足場上での点検が必要となる箇所の「絞り込み」を行ない、危険作業の範囲、ならびに仮設足場組みに要する工事費を必要最小限とする。

ドローン運用事業者

外部委託：株式会社ウイズソル（Withsol、業種：非破壊検査工事業）

【選定理由】

委託先は駐在する協力会社で、ENEOS（株）の各製油所における構内工事の安全管理に習熟している。また、マイクロドローンを用いた機器内部での高所点検工事を営業品目として保有しており、同社に発注することで、非破壊検査の専門技術者の目で目視点検を行なうことができるため。

使用機器

本事例を実施したウィズソル社では、検査をする構造物や検査項目に合わせて必要となるドローンを機体からオーダーメイドで作成している。

マイクロドローン

【機体】 ウィズソル社製（検査をする構造物や項目等に応じてオーダーメイド作成）

【機体サイズ】 65mm～115mm（本事例の場合は80mm）

【重量】 約20g～120g（バッテリーを含まず）

【バッテリーサイズ】 スマートフォンの約1/5～1/10

【カメラ】 操縦用のカメラ、点検画像用のカメラ（フルハイビジョン～8K）

【操縦】

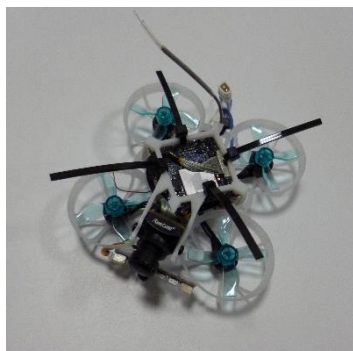
- FPV（First person view）遠隔操縦システムを利用。ドローンに搭載したカメラの撮影映像が操縦者の装着するヘッドゴーグルにリアルタイムで転送される。
- マニュアルでの操縦のため一般的なドローンよりも操縦難易度が高い。また、5GHz帯の無線を利用するため、電波法に基づき申請が必要である。

【特徴・利点】

- 小型のため、複雑な構造をした設備や配管の接触面等の検査にも利用可能
- 小型・軽量のため、万が一衝突をしても構造物や人に与えるダメージや危険性が低い

【本事例におけるマイクロドローンの選定理由】

石油精製設備のうち、内部に複雑なインターナル部材が組み込まれているものについては、その入り組んだ部材の間隙を通り抜けて、高所にある目的物の点検を行なう為には、マイクロドローンの活用が有効であった。



マイクロドローン



操縦の様子

【ドローンの性能・写真の出所】株式会社ウィズソルのホームページ

各種法令の確認

【航空法】

本事例では機器内部の飛行、また、200g以下の機体のため航空法における許可・申請等不要。

(※本事例は、機器内部の飛行であるため、航空法に基づく官庁関係の許可・申請は不要であるが、ウイズソル社では、自社製作の飛行登録ドローンは、200g以下のものについても近傍の飛行に関する届出を国土交通省へ提出)

【電波法】

本ドローンの操縦ではFPVシステムで5GHz帯の無線通信を使用する為、電波法に基づき、操縦者／管理者（管理会社）に第3級陸上特殊無線技士免許を有する者を当てた。

【その他】

機器内部の飛行のため、その飛行空域を規制する法令は無し。

関連機関との事前協議

飛行にあたり以下の社内機関への協議及び説明を実施した。

協議・連絡先	内容
所内 1	申請要否の確認（・・・機器内部での飛行につき申請不要）
所内 2	計画段階での、コスト検討、ドローン適用による工程短縮メリット有無検討
所内 3	ドローン落下時の回収等の対策の検討、工程調整等
所内 4	施工日（毎朝）、機器内部での工事・検査を行なう為の環境設定を実施

飛行目的・飛行計画の設定

機器内部での飛行につき該当無し。

リスクアセスメント・リスク対策

飛行にあたり製油所内で実施したリスクアセスメント及びリスク対策を以下に示す。

1. 官庁申請は不要であることの確認

⇒ 機器内部での飛行につき官庁申請不要であることを確認

2. 悪天候、瞬間的な強風の影響により、ドローンが制御不能になり、作業員、通行車両、設備等に落下する

⇒ 可燃性ガス検知～環境設定を行ない、作業員が入槽可能な条件下（＝可燃物・可燃性ガス無し）で飛行する為、可能性なし

3. バッテリー切れ等でドローンが落下した際の対応、機器内部に残ってしまった場合のリスク、対応等

⇒ バッテリーの連続使用時間より短い時間の飛行、バッテリー残量のモニタリングにより、バッテリー切れを未然防止する

⇒ 運転担当部署によって環境設定を行ない、作業員の入槽可とすることで、ドローンが落下しても回収可能

4. ドローンが操縦不能になり、構造部材に衝突して機器を損傷させるリスク、対応等

⇒ 65g程度の小型ドローンの為、ドローンが損傷するのみ

5. ドローンが操縦不能になり、人にぶつかる危険を予防する方法を確認

⇒ マイクロドローン検査を行なっている作業エリア（機器内部）への人の立入りを禁止する

設備内の環境

事前に点検を行なう石油精製設備の内部の無害化、酸素濃度の確保、人手による作業が可能な範囲で堆積物やハイドロカーボンの除去を実施した上で、飛行を実施した。

ドローンを活用した点検等の実施

飛行を実施するにあたり、ドローンの飛行前・飛行中において、以下の点を確認した。

1. 飛行前の確認事項

- 事前に点検箇所図面および写真をもとに確認したい部位を撮影できる機体を製作
- 特に、暗所である場合の配慮および侵入経路についてヒアリングをし、実現場前に疑似的にテスト飛行を行なって、無線の届かない範囲を飛行しない機体を準備
- 現地においては、飛行前に踏査を行ない、状況についての把握と、ENEOS担当者とは作業について入念に打合せを実施

2. 機体についての確認事項

- 通信チェックの実施（画像点検含む）
- プロペラの作動状況を目視にて確認し、ブレ等の無いことを確認
- 機体の外観損傷がないか、目視点検の実施

3. 飛行中の確認事項

- 操縦者、周囲の状況の確認者（目視）、モニター監視者の計3名で実施
- 監視担当者は、FPV方式にて飛行するため、操縦者の周囲の安全確認、飛行体近傍の安全確認等を実施
- モニター監視者は、飛行中、リアルタイム（同周波数で受信）にて、FPVのモニターに映し出されるバッテリー残量、無線通信量等の監視を実施

4. 飛行後の確認事項

- 飛行後は、機体の損傷有無を確認し、部品等を内部に落として来ていないか確認
- 記録媒体（機体内SD）のデータ確認（飛行の都度実施）

ドローンを活用した点検等の実施（続き）

5. その他

- プロペラが1つ停止しても戻って来られるように、操縦者の訓練を実施
- 墜落した場合し、機体が裏返しになっても、プロペラを個々に正転／反転可能のため、動く状況であれば、戻って来ることが可能

6. ドローン本体の点検整備チェックシート

点検日	点検者	点検内容			交換部品等
		点検項目		点検結果	
		機体全般	機器の取付け状態 (ネジ、コネクタ、ケーブル等)		
		プロペラ	外観		
			損傷		
			ゆがみ		
		フレーム	外観		
			損傷		
			ゆがみ		
		通信系統	機体と操縦装置の通信品質と健全性		
		電源系統	モーター又は発電機の健全性		
		自動制御系統	飛行制御装置の健全性		
		操縦装置	外観		
			スティックの健全性		
			スイッチの健全性		
(特記事項)					

ドローンを活用した点検等の実施（撮影）

実施体制・点検のフロー

- ① マイクロドローン＋カメラ、及び操縦者が装着する専用のFPVゴーグルにより、ドローンから見た画像をリアルタイムに視認（この画像は、別のモニターにもリアルタイムで表示でき、操縦者以外の検査者等も確認可能）しながら、被写体に対するドローン位置、姿勢等を調整し、マイクロドローン＆カメラの性能上最良の画像（動画）を録画する。
- ② 検査者は、提出された動画ファイル、あるいは飛行中のリアルタイムでの映像確認により、足場組立＋直視による詳細検査の要否／補修要否等を判定する。

撮影に係る情報

【撮影形式】 動画

【保管方法】

マイクロドローン点検で得られた動画から、特記的な画像を数点、静止画像としてピックアップし、PDF等の形で電子ファイル化して磁氣的保管（製油所の設備管理システム等）。

撮影における工夫

- 機体が小さく、狭所に入っていくことが可能のため、直視検査と同等の接写撮影が可能となる。
- 暗所においても、飛行できる程度の照度があれば、対象物に接近することができるため、明るい映像が取得可能となる。

ドローンを活用した点検等の実施（撮影）

撮影した画像と点検結果（反応器内部高所の点検画像サンプル）



【撮影環境】 動画を撮影し、その一部を静止画として取り出したもの

【カメラ設定】 自動設定としており、細かい設定なし

【点検結果】 異常なし



【撮影環境】 動画を撮影し、その一部を静止画として取り出したもの

【カメラ設定】 自動設定としており、細かい設定なし

【点検結果】 異常なし

画像の確認で代替可能な目視点検の範囲

一次点検等の代替（外観を俯瞰的に見て詳細点検の範囲を絞る所まで）は可能である。一方で今のところは、触診や、微細な欠陥を適切な手法で拡大して行なう非破壊検査、超音波肉厚測定のように0.1mm単位の計測を要する詳細検査は、ドローンでは代替困難である。

本事例における活用のメリット・有効性

詳細点検範囲の絞り込み等に活用することで、時間短縮・工事費節減・危険作業の最小化等が可能であり、有効である。このため、ENEOS（株）では各製油所でマイクロドローンを用いた点検を実施している。

本事例における課題

ドローン点検の技術は日進月歩である為、常に最新技術の動向およびその活用可能性を意識して取り組んで行く必要がある。

コーンルーフトank外面の腐食点検

本事例の特徴

- “視覚”による検査の代替としては十分に活用可能な画像を取得し、作業時間、コスト削減を実現
- 実際の検査結果に近い損傷部の大きさが推定可能な画像の取得の実現

飛行概要

概要

2021年2月8日に三井化学株式会社 市原工場において、ドローンを活用してコーンルーフトank外面のウィンドガーダ一部の腐食点検を実施した。本事例は、経済産業省委託事業「令和2年度新エネルギー等の保安規制高度化事業」の実証実験として実施された。

導入の背景

危険区域内としてドローン飛行できなかったエリアにおいて安全なドローン飛行を行い、定期点検や日常点検を実現するための検証を目的とした。また、従来の危険区域内であるための特有の安全対策の有効性の確認、課題の有無の検証を実施した。

飛行にあたり

市原消防局が策定している「実践 プラントにおける無人航空機ドローン運用の手引き」を参考にして一連の飛行の計画を実施をした。

ドローン運用事業者

【委託先】 株式会社ACSL

【選定理由】

従来の危険区域内の飛行であるため安全性と信頼性を重視した。ドローン運用事業者は、ドローン操縦の高いスキルを備え、国内プラントにおいて多くのドローン飛行実験、飛行操縦の実績を有している事業者を選定した。

使用機器

外部委託先であるACSL社に活用用途を伝え、現場の確認して貰った上で適切な機器を紹介してもらった。撮影対象物に接近できないことや、取得した画像を用いて点検を行うことを踏まえ、ZOOM機能が十分なカメラを選定した。

ドローン

【機種】 ACSL MiniGT3

【選定理由】 ACSL社推奨のため

カメラ

【スペック】 2040万画素×30倍ズーム（光学ズーム）、集点距離：4.3-129mm
センササイズ：1/2.3型(6.2mm×4.6mm)

記録画素数：5184×3888pixel

【選定理由】 ACSL社推奨のため

各種法令の申請

飛行においては以下の法令について申請を実施した。

法令	概要
航空法	飛行区域（空港周辺） ACSL社が持つ全国包括申請で対応

関連機関との事前協議

飛行にあたり以下の社内及び社外機関への協議及び説明を実施した。協議先と内容については、「実践 プラントにおける無人航空機ドローン運用の手引き」及びドローンの飛行実績を有する隣接工場から情報を参考にした。

協議・連絡先	内容
社内1	飛行計画説明、安全対策等の相談
社内2	情報共有、消防への計画説明準備
社内3	飛行計画説明、承認
ドローンベンダー	飛行計画策定
市原市消防局	事前説明1回。飛行計画説明1回
隣接工場	飛行情報事前共有

飛行目的・飛行計画の設定

【目的】 コーンルーフタンク外面のウィンドガーダ一部の腐食点検

【撮影対象】 コーンルーフタンク 上部側面

【飛行区域の状態】 危険区域の精緻な設定を行えば、非危険区域と評価されるエリア内
*区域の設定実施は未実施のため、飛行日は設備開放中であり、非危険区域に該当

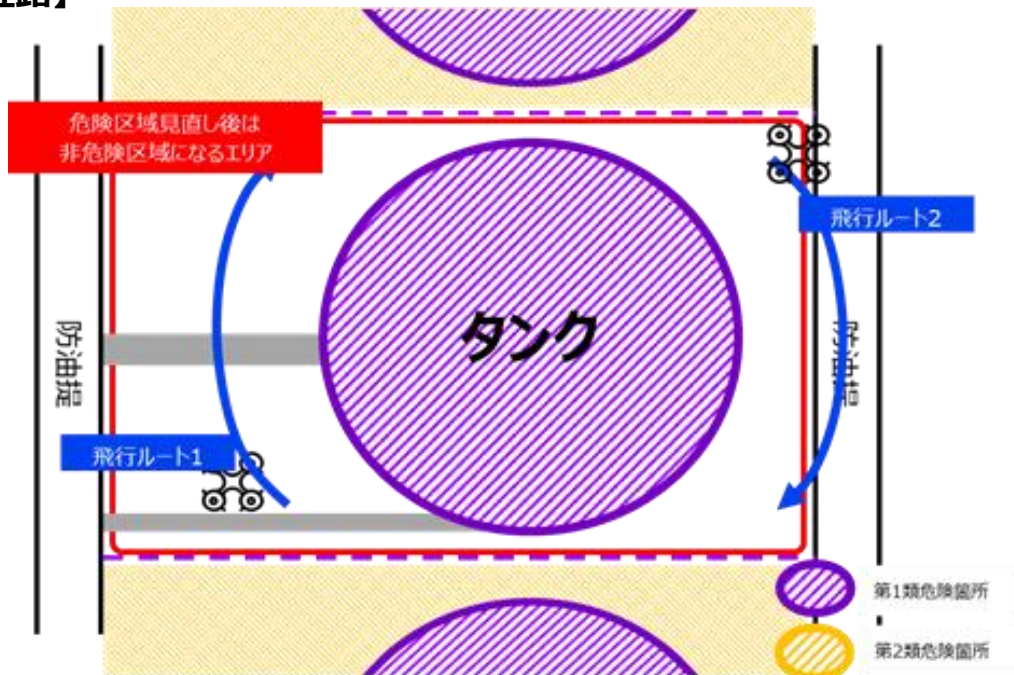
【飛行日時】 2021年2月8日（月） 13:30~15:30

【必要な監視人数】 ドローンの運用はACSL社が実施

操縦者、監督者、検査員、異常時の制御室との連絡者 各 1 名

風速監視員 1 名、交通監視員 1 名

【飛行経路】



【飛行経路検討時に検討したこと】

安全離隔距離 立ち入り禁止エリア、作業中止判断条件

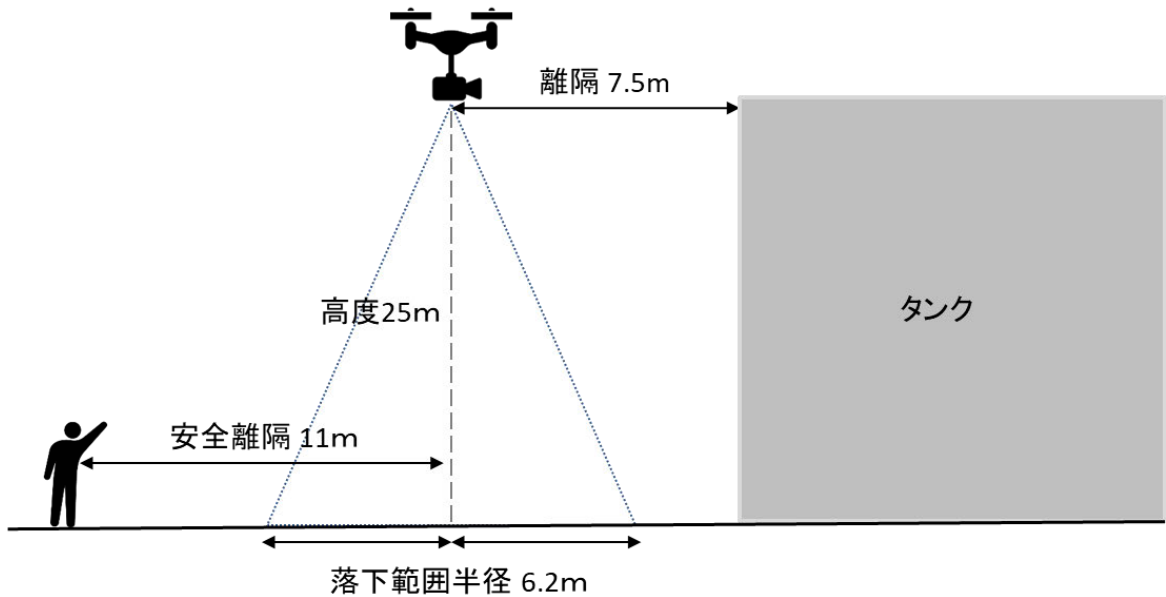
【その他記載項目】

危険物エリアへの墜落を避ける為の墜落想定範囲の算出、飛行内容（高さ、飛行ルート、速度等）、作業員の安全対策（立ち入り禁止区域設定、保護具、安全教育、着工許可等）、機体不調時の制御機能、安全離隔距離、作業中止判断基準（風速、天候）、緊急時連絡体制

飛行目的・飛行計画の設定（続き）

【離隔距離の検討】

ドローンの飛行高度から落下範囲を算出し、対象物及び人との離隔距離を推定した。これらの距離に従い、十分な離隔を保つように飛行経路を決定した。推定にあたっては、「プラントにおけるドローン活用事例集 Ver3.0 十分な離隔距離の考え方」の例について」を参考にした。



【作業中止判断基準（風速）の検討】

本事例においては、地上風速と飛行高度における風速の関係を推定した上で、地上風速における作業中止基準を定めている。推定にあたっては、「プラントにおけるドローン活用事例集 Ver3.0 十分な離隔距離の考え方の例について」を参考にした。

※「プラントにおけるドローン活用事例集 Ver3.0 十分な離隔距離の考え方」については、P53、P54にて記載。

リスクアセスメント

本事例は工事の位置づけとして実施したため、通常の工事と同様に着工前に三井化学、ACSL社でリスクアセスメントを実施した。実施したリスクアセスメントを以下に示す。

- 作業員の安全確保
- ドローン落下、制御不能時の設備破損への対策
- 周辺通行車両への落下の対策

リスク対策

飛行にあたり実施したリスクアセスメントの分析に対して以下のリスク対策を実施した。

- 作業時の立ち入り可能区域設定
- 作業員、監視員の位置検討
- 設備との必要安全離隔距離設定
- 飛行エリア下部の設備、配管等の養生
- 作業中止条件の設定
- ドローン機体制御不能時の対応策の確認
- 道路の通行止め

ドローンを活用した点検等の実施

飛行を実施するにあたり、ドローンの飛行前・飛行中において、以下の点を確認した。

1. 飛行前の確認事項

- 現地(工場)での確認事項
- 飛行前の風速
飛行高度の風速も考慮して地上風速の確認を実施
- 当日の気象予報

2. 機体についての確認事項

- 機体の電池残量
- 機体と操作コントローラーの通信状況
- GPS電波状況
- 事前飛行確認（低高度にてマニュアル飛行で機体の挙動確認）

3. 飛行中の確認事項

- 飛行中の風速
- 電波の途絶有無
- バッテリー残量

ドローンを活用した点検等の実施（撮影）

実施体制

ドローンを用いた目視点検の有効性の実証実験を行う為、パイロット(ACSL)に撮影を依頼し、三井化学保全担当者と非破壊検査会社検査員で観察を実施した。撮影の際には、三井化学保全担当者、検査員がリアルタイムで撮影の仕方等の指示をだした。

点検のフロー

- ① 点検箇所(ウインドガーダー上部)を一度動画で撮影
- ② 撮影した動画を三井化学、非破壊検査の検査員が確認し、詳細が気になる箇所についてACSL社に事前に伝える
- ③ その後詳細が気になる箇所を静止画で撮影

撮影に係る情報

【撮影形式】 静止画（547枚）、動画

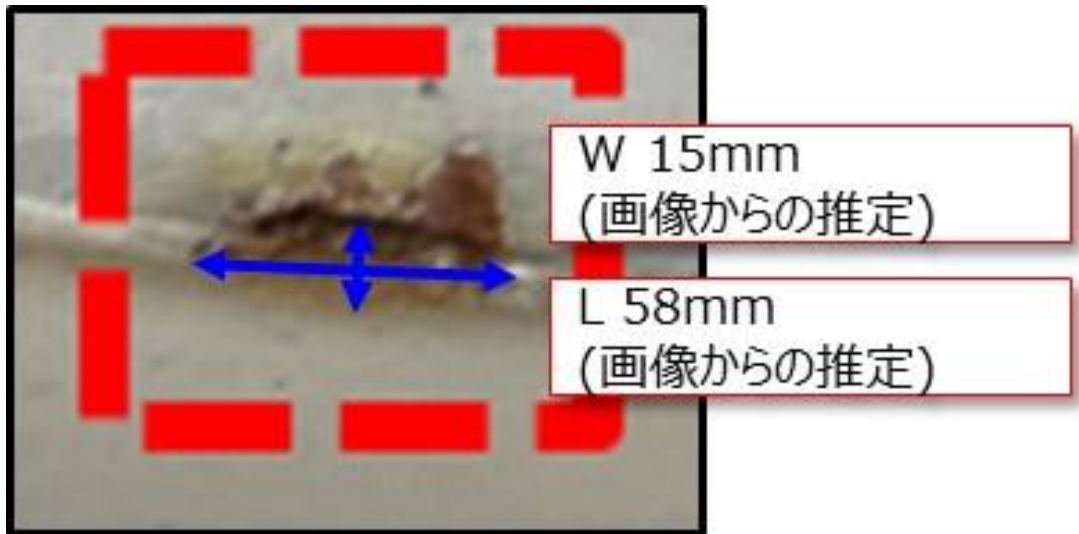
【保管方法】 電子データとして保存

撮影における工夫

- 俯角で撮影できる飛行高度をタンクの大きさやウインドガーダーの高さを図面と現場で確認し算出し、コーンルーフタンク外面のウインドガーダーを上方から撮影した。
- ACSL社と協議し、点検対象物との距離に対し、カメラの倍率が十分なものであることを事前に確認した。
- 反射して適切な写真が取得できない際には撮影角度を調整した。
- ドローン機体やバッテリー等の予備を用意した。

ドローンを活用した点検等の実施（撮影）

撮影した画像と点検結果



【撮影環境】 撮影対象までの距離：7.5m、天候：晴

【カメラ性能】 2040万画素×30倍ズーム（光学ズーム）

焦点距離：4.3-129mm

センササイズ：1/2.3型(6.2mm×4.6mm)

記録画素数：5184×3888pixel

【カメラ設定】 自動設定での撮影

【点検結果】

撮影画像より、実際の検査結果に近い損傷部の大きさが推定可能。また、画像をズームして確認することで従来の点検画像と同様に扱うことも可能。塗装剥離、サビの進行等の異常有無を画像による「視覚」で確認し、詳細な点検要否の判断材料になりうると考える。

【詳細検査が必要と判断した場合はその理由】

錆、損傷の深さまでは写真からは判断できないため。「補修要否」の判断については実際に人の手による検査が必要である。

成果

画像の確認で代替可能な目視点検の範囲

【日常点検（ドローンでは年1回程度を想定）】

- 塗装剥離、サビの進行等の異常有無を画像による「視覚」で確認し、詳細な点検要否の判断材料になりうる。（従来の点検では見ることのできない部分の点検が可能）

【保安検査前予備点検（7－8年に1回を想定）】

- 事前に画像による「視覚」で確認しておくことで点検・補修ボリュームを把握できる。

画像の確認で代替不可能な目視点検の範囲

【日常点検（ドローンでは年1回程度を想定）】

- 嗅覚、触覚、聴覚による異常有無の情報が得られないため、必要に応じて人による点検を要する。

【保安検査前予備点検（7－8年に1回を想定）】

- 錆、損傷の深さまでは写真からは判断できないため、「補修要否」の判断については実際に人の手による検査が必要。

本事例における活用のメリット

- 日常点検に活用すれば、普段運転員が見ることのできない高所の状況を「視覚」で把握できる。
- 保安検査前予備点検で、ドローンを活用すれば、補修要否を確認すべき場所の特定、足場工事の削減等による、作業時間、費用削減が期待できる。

今後の活用について

- 点検は元から委託して実施しているので、ドローンを用いた点検についても今後も委託により実施する予定。
- 点検以外へのドローンの活用についても、外部委託先と連携して活用を検討していく予定。

本事例における課題

- 「視覚」による検査の代替としては、十分に活用可能である。一方で、それ以外の検査は人の手によることとなる。

2. その他 活用事例

本章では、国内の石油精製、石油化学、化学等のプラント事業者によるドローンの活用事例（化学設備等の検査を除く）を紹介する。

避雷設備の点検

本事例の特徴

- ドローンを活用しこれまでできなかった高所設備の目視による詳細検査の実施
- ドローンに係る運用規程を定め、社内での運用体制を確立

飛行概要

概要

2021年1月19日 花王株式会社 和歌山事業場において、老朽化避雷針設備におけるドローン点検有効性検証が実施された。

導入の背景

老朽化避雷針の健全性確認は、これまで、継ぎ手部や突針部の目視による詳細点検は実施できていなかった。本検証では、ドローンを活用することで、コスト・負荷をかけずに点検することを狙いとし、その有効性を検証した。

ドローン運用事業者

自社で運用

【参考：操縦者について】

ドローンスクールを受講し、ライセンス取得の上、国土交通省への申請・許可を受けた者を操縦者の要件としている。本番前に社内グラウンドや体育館で飛行訓練を実施し、社内操縦者の育成を行っている。（約2時間／回）

【参考：外部委託時の検討】

業者に飛行を依頼する場合は、撮影したい内容検討の上、必要機器を提案し、実施可能な業者を選定している。

使用機器

ドローン

【機種】 Matrice210V2 (DJI社)

【選定理由】

ズームカメラやサーモカメラを搭載できる機種であり、電波や磁気干渉にも強い産業用ドローンであることから、主にプラント点検で使用している。

カメラ

【機種】 30倍ズームカメラ (DJI Z30) 、サーモカメラ (DJI XT2)

【選定理由】

事前検証にて、ズームカメラによる詳細点検の有効性を確認できたため導入した。また、配管やタンク、太陽光パネル等の高温部確認のため、高解像度サーモカメラを導入した。

【参考：機器の選定】

自社でドローンを飛行させる場合は、保有しているドローン（産業用ドローン、空撮用ドローン、小型ドローン）、所有カメラで可能な範囲で、用途に合わせて機器の選定を実施している。

各種法令の申請

飛行にあたり以下の法令について申請を実施した。

法令	概要
航空法	目視外飛行、人又は家屋の密集している地域の上空
消防法	設備停止中の危険エリア、壁屋根に囲まれた危険物施設の屋上での飛行

関連機関との事前協議

飛行にあたり以下の社内及び社外機関への協議及び説明を実施した。

協議・連絡先	内容
社内	飛行内容の周知・許可、現場監視者・交通整理員の選出 依頼、リスクアセスメント
近隣住民 ¹⁾	ドローン飛行予定と飛行目的の事前連絡
和歌山消防局 ²⁾	飛行計画書の届出（危険物施設での飛行に限り届出）

- 1) 近隣からドローンが視認できる可能性があれば、飛行目的、実施期間を記載した書類を作成し、事前周知している。周知の必要性判断は、社内で検討する。
- 2) 飛行計画書を作成する前に事前に管轄消防へ相談を実施する。

飛行目的・飛行計画の設定

【目的】 老朽化避雷針設備のドローン点検のため

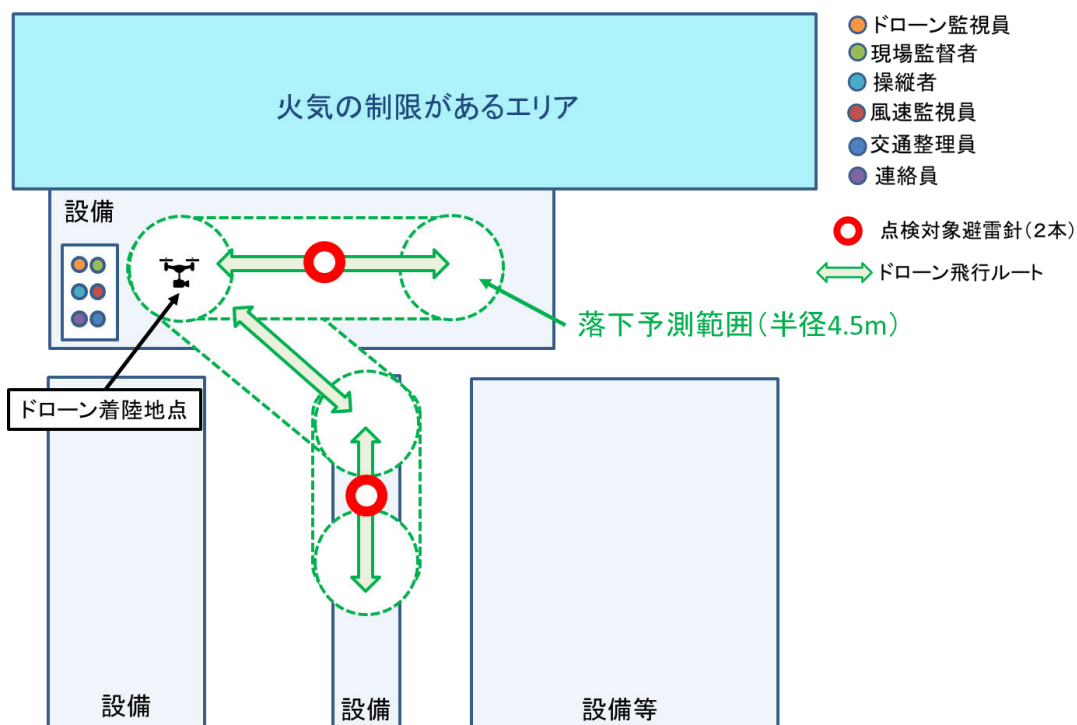
【撮影方法】 ズームカメラによる避雷針設備の継ぎ手部、突針部の詳細確認

【撮影対象】 設備建屋屋上 避雷針設備（計2本）

【飛行区域の状態】 敷地境界上空（爆発性雰囲気外）

【飛行日時】 2021年1月19日 11時～13時

【飛行経路】



【飛行経路検討時に検討したこと】

- 飛行高度における風速推定計算を実施し、上空でドローンが制御不能になった場合でも危険エリア（火気の制限があるエリア）に侵入しないよう、十分に離隔距離を確保できる飛行ルート及び、飛行中止風速管理値を設定した。
- 風速想定、落下予測範囲については、「プラントにおけるドローン活用事例集Ver3.0」を参考に算出した。

※「プラントにおけるドローン活用事例集 Ver3.0 十分な離隔距離の考え方」については、P53、P54にて記載。

飛行目的・飛行計画の設定（続き）

【実施体制】 5名（現場監督者、操縦者、ドローン監視員※、風速監視員※
交通整理員、連絡員※、設備担当者） ※役割を兼務

各役割とその概要を以下に示す。

役割	概要
現場監督者	飛行全体を取り仕切る。風速監視員から報告を受け、飛行高度及び飛行継続の可否を判断する。ドローン監視員からの異常報告を受けた場合は、飛行経路直下の道路封鎖を指示する。
操縦者	ドローンの操縦及び、カメラ撮影を実施する。
ドローン監視員	無人航空機の飛行状況及び周囲の気象状況の変化等を監視する。
風速監視員	風速監視場所における風速の状況を現場監督者へ報告する。
連絡員	ドローン異常時に現場監督者から交通整理員に対し、飛行経路直下の道路封鎖指示を伝達する。
設備担当者	点検中のドローン映像を確認し、操縦者に点検箇所や撮影角度等の指示を行う。

【飛行体制の考え方】

- 飛行体制は、飛行計画毎に関係者と相談し決定している。操縦者以外は兼務可能としており、操縦者を含んで最低3名以上で飛行を実施している。
- 操縦者以外は、証明書（ライセンス）の所持は不要としているが、飛行計画及び、国土交通省発行の標準飛行マニュアルの内容を十分に理解の上、ドローンの安全な飛行管理をできる者としている。
- 飛行に携わる者は飛行計画書作成の段階から計画に携わり、飛行内容、リスクアセスメント等をよく理解した上で飛行に臨むようにしている。

リスクアセスメント・リスク対策

【リスクアセスメント・リスク対策の方針】

- リスクアセスメント・リスク対策は「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」をベースに、ドローン事業者等からのヒアリング結果等を反映し作成している。
- 飛行毎に、飛行計画書を作成するメンバーでリスクアセスメント・リスク対策を実施の上、飛行計画書にまとめ、運用している。

飛行にあたり実施したリスクアセスメント及びリスク対策を以下に示す。

1. 爆発性雰囲気を生成する可能性がなく火気の制限がないエリアにおけるリスク

① ドローンの機能に不具合が生じ、ドローンが停止、落下する。

⇒ 気象条件、機体点検、送信機点検、バッテリー点検等を「事前・飛行中チェックリスト」を用いて実施する。

② 悪天候、瞬間的な強風の影響により、ドローンが制御不能になり、作業員、通行車両、設備等に落下する。

⇒ 飛行高度での風速推定計算結果より、各飛行高度での測定風速の管理値以内（風速計の測定値を3秒間平均した値）で飛行可能とし、雨天及び管理値を超える場合は飛行を中止する（測定点から飛行高度10mの場合7m/s、30mの場合5m/s）。

⇒ 上空でドローンが制御不能となり、自由落下した場合でも、危険区域へ侵入しないよう、風速と飛行高度から推定した落下推定範囲を計算し、十分な離隔距離を確保できる飛行ルートを設定した。

⇒ 事業場に隣接する道路等の公道へ落下しないよう、十分な離隔距離を確保した。

⇒ 気象条件の悪化や機器トラブル時に、飛行中止を速やかに判断できる現場監督者を配置した。

⇒ ドローンの飛行状況及び周囲の気象状況の変化並びに関係者以外の立入を監視するドローン監視員を配置した。

⇒ ドローン監視員は、関係者以外の立入の可能性を確認した場合には、立ち入らないよう注意喚起するとともに、操縦者へ必要な助言（安全な距離、安全な着陸場所等）を行った。

⇒ 風速の変化に迅速に対処するため、飛行エリアの地上においても手元風速計による風速監視を行った。

⇒ 飛行ルート直下の道路において、必要に応じて交通制限を行えるよう交通整理員を配置した。

⇒ 飛行前、飛行当日におけるプラント入構者へのドローン飛行の実施及び飛行ルートに関する周知を徹した。

⇒ 各種障害に強い産業用ドローンを選定した。

⇒ 操縦を担当する者の健康状態を確認する。

リスクアセスメント・リスク対策（続き）

1. 爆発性雰囲気を生成する可能性がなく火気の制限がないエリアにおけるリスク

③ 飛行中の他の航空機や鳥獣に接触し、落下する。

⇒ 花王敷地内での飛行であり、一般の旅客機等に接触する可能性は無い。

⇒ 今回飛行するドローンは一機のみであり、場内でドローン同士が接触する可能性は無い。

⇒ 近隣で同時にドローンが飛行する計画がないことをドローン情報基盤システム（飛行情報共有機能）にて確認した。

⇒ 鳥獣等の接近について覚知できるよう、空域を監視するドローン監視員を配置した。

④ 高さのある金属の施設近傍での磁気センサーの乱れ、GPSの不具合及びドローンで使用する電波と同一の電波を使用する通信機器等からの電波干渉により、ドローンが制御不能になる。

⇒ ドローンと同一電波帯域を使用する通信機器等からの電波干渉により、ドローンが制御不能になる。事業場内で使用する電波を確認の上、ドローン飛行エリア内で電波干渉した場合においても、ドローンが自動でチャンネル切替える機能を使うことで、通信に問題無いことを確認した。

⇒ 船舶無線（150MHz～160MHz）とは周波数帯が異なり、干渉しないことを確認した。

⇒ 今回使用するドローンは自律飛行型であり、操作用電波は、基本的に緊急時以外は発信しない。なお、電波障害等により緊急時のマニュアル飛行に支障がないかは、事前のテスト飛行で確認済み。

⇒ GPSによる飛行が不安定な場合、操縦者による運転に切り替えるよう設定した。

⇒ 磁気センサー、GPS等の電波を良好に受信できない場合や通信輻輳等による電波利用環境の悪化時及びその他不具合発生時には、フェールセーフ機能により離陸地点若しくは電波を良好に受信できる地点まで自動的に戻る機能（自動帰還機能）を設定した。

⑤ 設備に墜落し、配管破損により漏えい事故が起こる。

⇒ 上空でドローンが制御不能となり、自由落下した場合でも、危険区域へ侵入しないよう、風速と飛行高度から推定した落下推定範囲を計算し、十分な離隔距離を確保できる飛行ルートを設定した。

リスクアセスメント・リスク対策（続き）

2. 爆発性雰囲気を生成する可能性があるエリアの近傍や火気の制限があるエリアの近傍におけるリスク

① ドローンの機能に不具合が生じ、ドローンが停止、防爆エリア内に落下する。

⇒ 飛行エリアは設備停止中であり、危険物除去を実施済みのため、該当なし。

② ドローンの飛行高度において、耐風性能を超える風速が生じ、機体が流され、危険区域に落下する。

⇒ 飛行エリアは設備停止中であり、危険物除去を実施済みのため、該当なし。

③ 落下等の衝撃により設備やバッテリーが破損し、着火する。

⇒ 飛行エリアは設備停止中であり、危険物除去を実施済みのため、該当なし。

3. 磁気／電波の干渉により、安定した飛行に影響を与えるリスク

① 磁気干渉により操縦不能となる。

⇒ 各種障害に強い産業用ドローンを選定した。

⇒ 詳細な飛行ルートを十分に検討し、事前に飛行ルート上の複数個所で上下飛行を行うことで、磁気干渉の状況を事前に確認する。

⇒ 出来る限り操縦場所と機体の間に障害物が入らないルートの設定を行う。

⇒ 機体に近い場所で操縦できる離着陸地点を設定する。

⇒ 異常が発生した際には、機体近くに操縦者が移動し、異常復旧を試みる。

⇒ コンパス異常が発生した際は、飛行場所を移動しエラー表示が消えることを確認する。また、コンパスキャリブレーションを実施の上、再開可否の判断を行う。異常が解消されない場合、飛行中止やルート変更判断を行う。

② 電波干渉により操縦不能となる。

⇒ 各種障害に強い産業用ドローンを選定した。

⇒ 詳細な飛行ルートを十分に検討し、事前に飛行ルート上の複数個所で上下飛行を行うことで、電波干渉状況を事前に確認する。

⇒ 出来る限り操縦場所と機体の間に障害物が入らないルートの設定を行う。

⇒ 機体に近い場所で操縦できる離着陸地点を設定する。

⇒ 異常が発生した際には、機体近くに操縦者が移動し、異常復旧を試みる。

⇒ フェールセーフ機能として「自動帰還」を設定した。

⇒ 電波異常が発生した際は、飛行場所を移動しエラー表示が消えることを確認する。異常が解消されない場合、飛行中止やルート変更判断を行う。

リスクアセスメント・リスク対策（続き）

3. 磁気／電波の干渉により、安定した飛行に影響を与えるリスク

③ 操縦不能になった機体が墜落する。

⇒ 操縦不能になった際の対策として、以下について検討の上、関係者への周知を行う。

- 異常が発生した際は、一気に上昇させることで干渉源から遠ざける。
- 干渉源から遠ざけても異常が解消しない場合は無理せず安全な場所に着陸させる。
- 最終手段として、モーターの強制停止により危険の少ない場所に墜落させる。

④ アラームの見落としにより、異常の確認が遅れる。

⇒ プロポの映像を共有することで、複数人でドローンの状態を監視する。

4. その他

① 官庁提出書類に不備が生じる。

⇒ 航空法に基づき、事前に国土交通省へ申請書を提出し、認可を取得済み。

⇒ 地元消防局（和歌山市消防局）へドローン飛行計画を事前に提出済み。

② 場内手続きに不備が生じる。

⇒ 近隣住民等からの問合せに備え、関連部門へ飛行計画を周知する。

⇒ 事前に、飛行計画を工場内に周知する。

③ 損害発生時の補償。

⇒ ドローン保険（賠償、機体）に加入済み。

ドローンを活用した点検等の実施（飛行）

飛行前・飛行中の確認事項

- 「プラントにおけるドローン活用事例集Ver2.0」に記載されているフォーマットをベースとして、共有フォーマットとして運用しつつ、必要に応じて追加変更を実施した。（次のページにチェックリストを示す）

飛行前・飛行中の確認事項（続き）

飛行を実施するにあたり、ドローンの飛行前・飛行中において、以下の点を確認した。

項目	詳細	飛行タイミング		
		事前	飛行中	
飛行前の確認	前提条件	飛行当日、工場入場者への、ドローン飛行の実施及び飛行ルートに関する周知の徹底がされているか		
		計画通りの監視体制となっているか		
		天候、風速は計画条件を満たしているか		
	確認事項	操縦者等の体調面は問題ないか		
		操縦者等は飲酒していないか		
		飛行ルートに接近する人、車等がないか		
機体運用に関する事前確認	機体	プロペラ、機体のねじの緩みはないか		
		機体の損傷、ゆがみはないか		
		モーターの水平は取れているか		
		モーター手回しの際の異物感及び違和感はないか		
	バッテリー	バッテリー残量は充分充電しているか		
		バッテリーの外観（傷、変形、膨張等）、液漏れはないか		
		バッテリーに異常発熱はないか		
		バッテリー異常のエラーは発生していないか		
		バッテリー搭載時の機体重心はあっているか		
		バッテリーが機体に固定されているか		
	ラジコン送信機（プロポ）	プロポ電池残量は充分か、充電したか		
		スイッチ入力前のスイッチ、スティックの位置確認は正常か、スイッチは壊れていないか		
	地上局	地上局ソフトがインストールされているか		
		PC・タブレット等の端末は充電されているか		
		地上局側の受信機はあるか、破損していないか		
		地上局ソフトが起動するか		
		COMポートは合っているか		
		バッテリー情報は取得できているか		
		テレメトリ通信は確保できているか		
		送信機の通信は確保できているか		
		GPS情報は取得できている		
		操縦モードは切り替わるか		
		地図が表示されているか		
		エラーメッセージは出ていないか		
		飛行計画が転送されているか		
	テスト飛行による確認	テストフライトを行って異常がないか確認したか		
		異音、振動等の異常はないか		
		飛行中の不安定な挙動はないか		
		GPSは取得できているか		
		地上局との方位のずれはないか		
プラント特有の確認	事前確認	飛行中止基準を明確に定めているか		
		飛行中止を判断できる者が配置されているか		
		最隣接タンクの防油堤内のガス検知はしたか		
		消防火体制が確立しているか		
		十分な離隔を確保しているか		
		風速を監視する者またはシステムが配置されているか		
	飛行中確認	飛行中のドローン直下に接近する人、車等がないか		
		他の航空機や鳥獣が接近していないか		
		天候、風速の状況に変化はないか		
		計画通りの飛行状況（高度、緯度・経度）か		
ドローン活用特有の確認	データ取得	GPS情報は記録されているか		
		カメラは適切に固定されているか		
		カメラを起動したか		
		カメラの設定は適切か		
		映像伝送装置は起動したか		

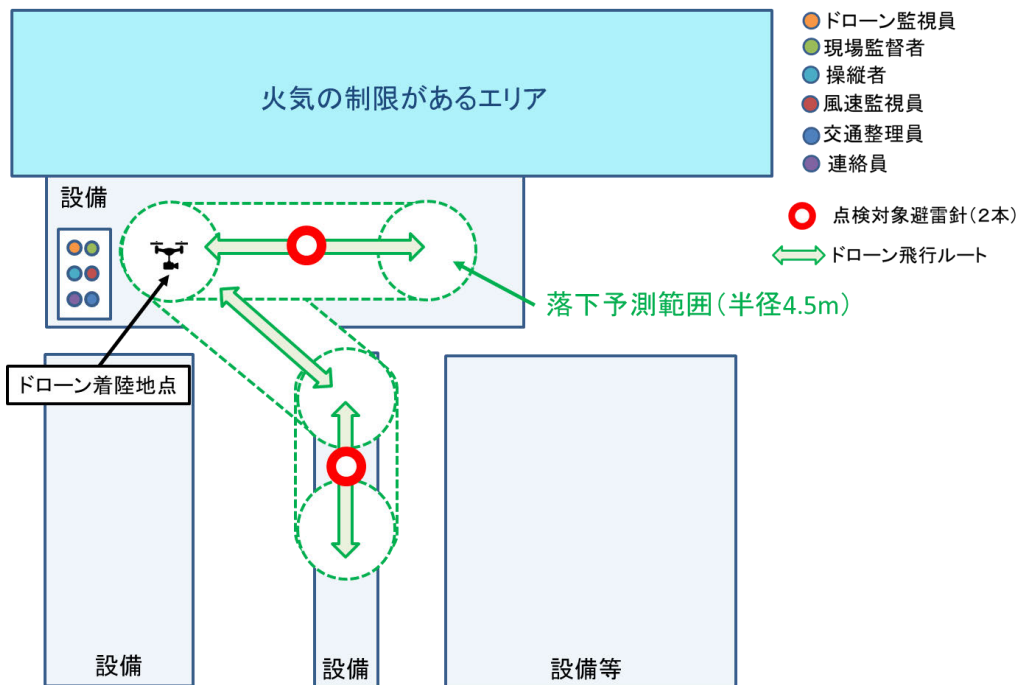
ドローンを活用した点検等の実施（撮影）

飛行・撮影方法

飛行計画書、リスク対策に従い飛行・撮影方法を実施した。飛行・撮影方法を以下に示す。

- ① 離陸
- ② 避雷針から5mの距離を保ちながら、避雷針下部～先端部までゆっくり垂直上昇しながら、避雷針表面の腐食状況を撮影
- ③ 反対側面についても、避雷針表面の腐食状況を撮影
- ④ 各避雷針に対して、①～④を繰り返し撮影

【飛行経路（再掲）】



ドローンを活用した点検等の実施（撮影）

点検の実施体制

有効性検証のため、ドローン点検を実施した後に、目視・写真撮影を行い、設備担当が結果を比較し、有効性を判断することとした。このため、実施体制としては、「ドローン飛行部門」と「検証部門（工場設備担当）」が連携して実施することとした。

点検のフロー

- ① ドローンで点検画像撮影（継手溶接部、突針部）
- ② 検証部門による確認（避雷針チェックリストの項目）
⇒ 結果異常無し、目視判定と同等と評価

【参考】 避雷針点検記録の点検項目

- 突進部の破損、劣化、落下、ボルトの状態等
- 支持管の破損、劣化、ボルトの状態等
- 指示管と他の配管との隔離
- 支線の断線、劣化

撮影に係る情報

【撮影形式】 動画

【保管方法】 電子ファイルとして保存

【参考】

撮影形式（動画、静止画）は目的に合わせて使い分けている。例えば、常時撮影は動画で行い、注視ポイントを静止画に取得することで、後から確認しやすいように工夫している。また、社内報告では、動画での発表がインパクトあるため、動画は取得するようにしている。

撮影における工夫

- ズームカメラでの撮影であるため画角が狭く、風の影響で静止が難しかったため、動画で撮影を実施し、後から必要画像を切り出して結果としてまとめた。
- 点検に当たっては、別モニターで操作画面を別表示し、設備担当者に確認頂き、撮影箇所や角度の指示を頂きながら実施した。
- 撮影後の編集、見せ方を考慮して撮影を実施する。画角を広めにし、後からトリミングしたり、画質低下を防ぐため、4Kで撮影等の方法は有効と考える。

ドローンを活用した点検等の実施（撮影）

撮影した画像と点検結果



【撮影環境】 撮影対象までの距離：5m

天候：晴

【カメラ性能】 30倍ズーム

【カメラ設定】 自動設定での撮影

【確認箇所】 ボルトの状態（錆、脱落）

溶接部の腐食状況

ワイヤーの亀裂等

【点検結果】 問題無し



【撮影環境】 撮影対象までの距離：5m

天候：晴

【カメラ性能】 30倍ズーム

【カメラ設定】 自動設定での撮影

【確認箇所】 ボルトの状態（錆、脱落）

本体の亀裂／腐食等

【点検結果】 問題無し

ドローンを活用した点検等の実施（撮影）

撮影した画像と点検結果（続き）



【撮影環境】 撮影対象までの距離：5m

天候：晴

【カメラ性能】 30倍ズーム

【カメラ設定】 自動設定での撮影

【確認箇所】 溶接部の腐食状況、
本体の亀裂／腐食等

【点検結果】 問題無し

画像の確認で代替可能な目視点検の範囲

外観の目視検査については、画像の確認で代替可能と考えている。タンク内部、煙突の煙道、鏡板の点検などは経験ないが、今後実施していく予定である。

本事例における活用のメリット

- 従来の突針部の点検は床面からの目視で見える範囲での点検であったが、溶接部等の詳細確認が可能
- 高所作業における安全性向上
- 所要時間・コスト削減（足場設営不要）

本事例における課題

- ドローンの墜落リスクについては、現状も対策は行っているが、今後も飛行毎に個別検討を実施する必要がある。特に、墜落の原因となる鳥獣への対策、金属障害物（配管や槽等）による磁気・電波障害等の対策検討が必要となる。
- 防爆対応についても、現状も対策を行っているが、引き続き検討を実施する必要がある。

【参考】ドローンの飛行に係る社内マニュアル

花王株式会社では、ドローン活用の検討を進める中で、活用展開のため、社内規程作成が必要となったことをうけ、ドローンの飛行において社内運用体制を確立し、運用規程（工場における無人航空機運用規程）を2021年7月に制定し、運用を開始している。

記載内容

3省ガイドラインをベースとし、社内運用できる内容で作成した。各拠点でのドローン活用を推進するため、各拠点担当者が、自身で飛行計画を立案し、運用できるよう、必要な情報や、社内運用方法、飛行計画書の作成方法をまとめた。

＜工場における無人航空機運用規程 概要＞

第1章 総則		
第1条	目的	適用範囲、関連法規、運用規程の目的
第2条	定義	ドローン、危険エリア、各種用語の定義
第3条	運用範囲	活用目的、飛行可能エリアの説明
第2章 飛行計画		
第4条	事前協議	飛行計画書の作成タイミング、緊急時の運用
第5条	操縦者	操縦者の要件、航空法の制限
第6条	利活用申請	飛行計画書の承認ルート、運用方法、外部への情報共有
第3章 運航管理		
第7条	安全点検	事前チェックリスト、点検整備記録の運用
第8条	安全管理	現場監督者の安全管理について
第9条	飛行禁止場所	飛行禁止場所を記載
第10条	運航の条件	飛行実施体制、天候等の対応、電波／磁気干渉の対策
第11条	維持管理	点検整備記録、飛行記録、書類保管期間

作成における検討

- 規程作成において、危険物施設の防爆エリアの制約が大きく、工場内の飛行可能範囲が限定的となってしまう課題に直面した。この課題に対して、和歌山消防局と相談し、屋根壁で囲われている危険物建屋上空での飛行について、安全性考慮の上、飛行を可能とする旨について、了解を得た上で、運用規程に反映した。

サーモカメラによるプラント発熱部検出

本事例の特徴

- ドローンのプラント内活用有効性検証のため、サーモカメラの検証を実施

概要

2019年5月15日 花王株式会社 愛媛工場において、ドローンへサーモカメラを搭載し、工場広域監視（UTYエリア）のプラント発熱部の検出を行い、検出精度、サーモカメラの有効性の確認を実施された。

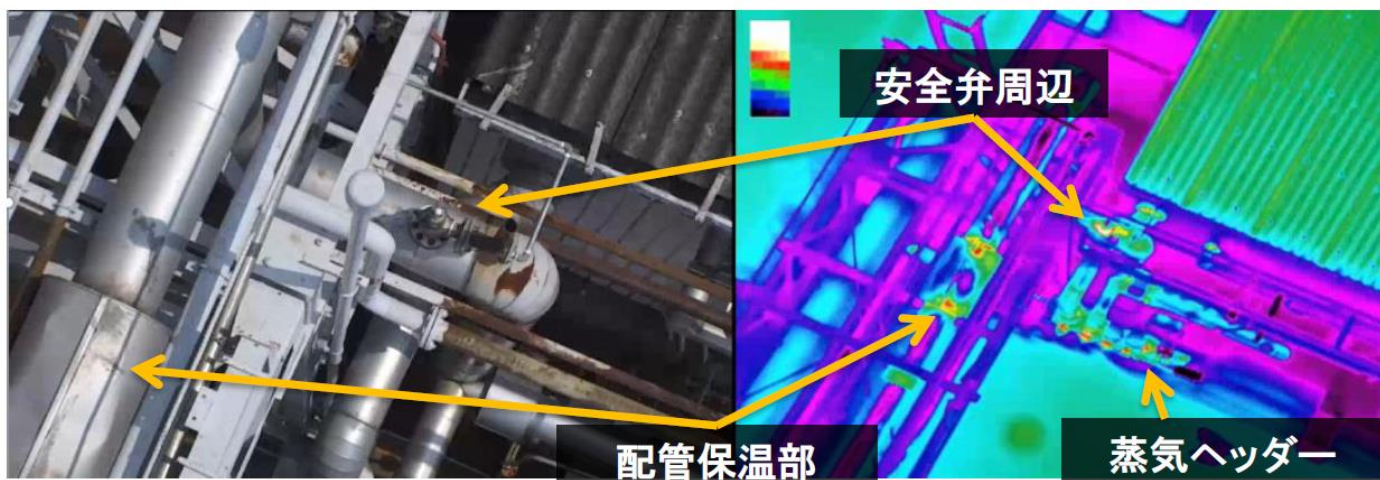
使用機器

ドローン：DJI Matrice200、カメラ：30倍ズームカメラ、サーモカメラ：DJI XT

撮影した映像

可視カメラ映像（30倍ズーム）

サーモカメラ映像



同じ箇所に対して、可視カメラ映像、サーモカメラ映像を掲載した。ドローンにサーモカメラを搭載し、プラント内の高温開所検出（約90℃）の検出を実施した。

工場敷地境界のパトロール

本事例の特徴

- 運用体制を確立し、通年の定常的な飛行を実施
- 可視光、赤外線カメラを併用し、昼夜を問わず巡回を実施

飛行概要

概要

2018年5月以降、住友化学株式会社 精密化学品工場において、敷地境界パトロール及びドローン飛行訓練としてドローンの飛行を実施している。2021年11月時点では、GPSを活用した飛行を日々のパトロールにおいて実施している。

導入の背景

精密化学品工場では敷地境界にフェンスを設置しているが、パトロールを実施するにあたっては周辺の足場が悪いことや、降雪時の足元確認に労力を要する課題があった。そこで、業務負荷の低減と労働安全を配慮したドローンの活用方法を検討した。

運用までの検証

飛行にあたり、まず飛行に係る手続き、申請、適用の可否の検討を実施した。また、導入にあたり、飛行の安定性や視認性、自動飛行の精度の検証を事前に実施した。

ドローン運用事業者

工場に常駐する協力会社へ委託し、ドローンの導入及び運用管理は住友化学が実施している。

【操縦者】 15人（外部委託先：10人、住友化学精密化学品工場：5人）

【参考情報】

ドローンの飛行は外部委託先が実施。操縦者は操縦技量の維持のために、定期的な飛行訓練、飛行テスト（ドローンベンダーからの情報を参考に作成）を実施している。

使用機器

ドローン

【機種】 Matrice 210（DJI社）、Phantom 4（DJI社）（予備機）

【選定理由】

厳冬期は夜間の気温がマイナス15℃程度まで低下することもあり、この温度においても安定した飛行が実施できる必要があった。また、昼間に加えて夜間の飛行も必要であり、制約に応じた複数のカメラを搭載できる機種を選定した。

加えて、飛行が安定しており、通常のカメラと赤外線カメラの搭載可能な機種を選定した。

カメラ

【機種】 通常カメラ：Zenmuse X5S、赤外線カメラ：Zenmuse XT

【選定理由】

ドローンベンダーに用途等を相談しながら選定を実施した。

通常カメラは監視業務に適したZOOM機能がある機種を選定した。加えて、夜間の飛行に適した赤外線カメラも選定した。

各種法令の申請

飛行にあたり以下の法令について申請を実施した。

法令	概要
航空法	夜間飛行、目視外飛行、人および物件から30m以内※
小型無人機等飛行禁止法（通報書）	飛行計画、飛行経路、操縦者、機体情報等

※実際の運用においては目視外及び人および物件から30m以内の飛行は実施していない

関連機関との事前協議

飛行にあたり以下の社内及び社外機関への協議及び説明を実施した。

協議・連絡先	内容
社内	パイロット育成、機種選定、予算等
社内（工場内）	工場内全部署への飛行の周知等
警察署、近隣の航空施設	飛行計画、飛行経路、操縦者、機体情報等
市役所、近隣の敷地管理者	飛行計画の説明
消防署	飛行計画の説明

飛行目的・飛行計画の設定

【目的】 敷地境界パトロールおよびドローン飛行訓練

【撮影方法】 必要に応じて動画、静止画撮影

【撮影対象】 敷地境界

【飛行区域の状態】 敷地境界上空（爆発性雰囲気外）

【飛行経路】 保安上の観点から省略

【飛行経路の検討時に考慮したこと】

- 航空法や小型無人機等飛行禁止法などの法令遵守
- 変電所などの無線干渉機器との距離

【必要な監視人数】

飛行計画に対応可能な操縦者人数の確保（精密化学品工場および外部委託先を合わせて約15名、飛行時は操縦者に加えて補助者を配置

リスクアセスメント・リスク対策

飛行にあたりドローンベンダーの資料や国土交通省のマニュアルを参考にリスクを洗い出し、リスクアセスメント表（27件）を作成した。以下にリスクアセスメント表の一部を抜粋し、リスクアセスメントとそのリスク対策を示す。

1. 飛行中にバッテリーがなくなり墜落

- ⇒ 飛行前バッテリーの充電完了確認
- ⇒ 飛行直前のバッテリー残量の確認
- ⇒ 飛行中のバッテリー残量の確認
- ⇒ スマートGo Home機能の有効確認（バッテリー残量計算で自動帰還する機能）
- ⇒ 補助者がバッテリーの残量を確認
- ⇒ 関係者以外は立入禁止、関係者は機体の真下にいない、
- ⇒ 機体から目を離さない、墜落しそうな時は退避するなど注意喚起

2. 耐風性能（10m/s）以上の風に煽られて制御不能になり墜落

- ⇒ 事前に天気予報を確認して、飛行計画を立てる
- ⇒ 当日は工場風速計で1時間前からの瞬間最大風力を確認して、風速が5m/s以上の値を記録していれば飛行中止とする、
- ⇒ 関係者以外は立入禁止、関係者は機体の真下にいない、機体から目を離さない、墜落しそうな時は退避するなど注意喚起

3. 野鳥に接触して墜落

- ⇒ 野鳥が飛行経路上に飛んでいる場合は飛行一時停止または中止する
- ⇒ 関係者以外は立入禁止、関係者は機体の真下にいない、機体から目を離さない、墜落しそうな時は退避するなど注意喚起

4. 機体を上昇させすぎて、航空機と衝突（航空法の定めを遵守）

- ⇒ 最高高度の設定を43mに設定する（チェックリストで対応）

5. 建物でGPSの電波が届かなくなり、GPSの位置補正の機能なしで操作して、操作を誤り墜落（建物で電波障害）

- ⇒ 飛行場所を事前確認してGPSの補足状況を確認する（10以上補足していなければ飛行させない）
- ⇒ 関係者以外は立入禁止、関係者は機体の真下にいない、機体から目を離さない、墜落しそうな時は退避するなど注意喚起

ドローンを活用した点検等の実施

飛行を実施するにあたり、ドローンの飛行前・飛行中において、以下の点を確認した。

年月日:	(西暦) 年 月 日	飛行時間	: ~ : 時間 分
飛行責任者		操縦補助者 (モニターの監視やスレブ操作等)	
操縦者		操縦補助者(現地監視等)	
目的		機体名	
① 事前準備 (前日までに確認しておく事項)	確認者	緊急用務空域を確認する。(国土交通省ホームページ)	
		飛行予定場所は事前に障害物の有無やその位置、高さを確認して安全な高度と操縦者の位置を決める。 ※撮影場所が20m以内にある場合はホームポイントの位置は撮影場所から20m以上離れた場所に設定しておく(20m未満の距離でRTHの指令または電波切れ等でRTHが発動するとRTHの指令を受けた時の場所に人や障害物が有っても着陸してしまう。)	
		飛行予定場所または周辺でイベント等(工事、工場見学等)が無い確認しておく。また、関係部署に連絡し飛行場所周辺は立入り禁止とする。	
		太陽フレアの影響等、GPSに影響のある可能性はないか。	
		機体、送信機のネジ類の緩みがないか。	
		機体のフレームのガタツキがないか。	
		プロペラに傷やゆがみがないか。	
		機体の手動回転によるモーターの異音、ザラつきがないか。	
		送信機、モニターの配線ケーブルのコネクター部の腐食損傷がないか。	
		モニターはしっかり固定されているか。	
		最新版のソフトウェア ※アップデート要求があればアップデートする。	
		パラメータ確認表でパラメータの確認を行う。	
② 離陸前準備	確認者	工場の気象観測装置で気温、風向と1時間前からの瞬間最大風速を確認する。 現地の上空を確認して降雨、降雪、濃霧の時、また、それが予想される場合は飛行を中止する。 ※飛行中止の気候条件 : 瞬間最大風速 5m/s以上、気温: 動作環境温度以外 機体の動作環境温度 PHANTOM 4 : 0~40° , MATRICE : -20~45° 1時間前からの瞬間最大風速 m/s、気温 °C、風向 (参考)	
		飛行予定場所に関係者以外がないか確認する。 ※見学者等には機体の真下に入らない、機体から目を離さない、無人航空機が近づいてきたらすぐ退避するように伝える。	
		野鳥が飛行経路上に飛んでいないか確認する。 ※野鳥が飛行経路上に飛んでいる場合は飛行一時停止または中止する。	
		不要なモバイル機器の電源をOFFする。	
		送信機、機体のバッテリー残量を確認する。	
		離着陸場所に無人航空機を運び、プロペラに傷やゆがみがないことを確認してから取付け、しっかり固定されているか確認する。	
		モニター、送信機、機体の順に電源をONとし、異常メッセージはないか確認する。	
		GPS衛星の信号を10基以上補足しているのを確認する。 GPS補足数 基	
		プロポの操縦モードを確認する。(モード1 or モード2)	
		機体のバッテリーの温度が、20°以上40°未満を確認する。※15~20°未満はホバリングして温度が上がるのを待つ、15°未満は飛行中止。 温度 °、温度 °、温度 °、温度 °、温度 °、温度 ° ※交換すれば都度確認する。	
		アイドリングさせプロペラの回転で異常な振動音が無い確認する。	
		目上の高さまで上昇させ、ホバリングが安定しているか確認する。	
	プロペラの回転で異常な振動音が無い確認する。		
	前後左右、左回転、右回転を操作して問題ないか確認する。		
③ 離陸中	確認者	※操縦者は以下の項目を読んでチェックする。	
		バッテリー残量を適時確認し対応をする。	
		モニターからのメッセージが出たら内容を確認し対応をする。	
		歩行者や車両等が近づいて来たら機体を30m以上離す。	
		ホームポイントから機体の距離が20m以内のときはRTHはしない。 操縦者は操縦している最中は移動しない。やむを得ず移動する際には足元を確認してから移動する。ドローンやモニターから目を離せない場合は補助者が誘導する。 敷地境界線の飛行は、高度35m以上、43m以下で飛行する。 ※敷地境界線の樹木の高さ20m	
④ 着陸後の確認	確認者	機体にゴミなどの付着があれば、除去すること。	
		機体、送信機のネジ類の緩みがないか。	
		機体のフレームのガタツキがないか。	
		プロペラに傷やゆがみがないか。	
		機体の手動回転によるモーターの異音、ザラつき、異常発熱がないか。 ※指定頻度でモーターで温度測定実施。 送信機、モニターの配線ケーブルのコネクター部の腐食損傷がないか。	
⑤ 記録		飛行経歴記録、工場内飛行実績報告書に記録する。	

ドローンを活用した点検等の実施



(ドローンで撮影した敷地境界の画像)

ドローンで敷地境界のパトロールを代替することは可能である。敷地境界のパトロールでは主に視覚による不審物、不審者、動物の侵入検知を実施している。そのため、視覚を代替できるドローンとの相性がよい。

通常映像



赤外線映像



(ドローンに搭載した赤外線カメラで撮影した画像)

点検や監視業務、赤外線カメラなどの活用により人のパフォーマンスを超える点検が可能となる。本事例においても夜間パトロール時に赤外線映像を活用し設備外の状況が把握している。

本事例における活用のメリット

- 人による敷地境界のパトロール監視は、特に夜間や冬季において業務負荷が高く、ドローンの活用によって代替することが可能となった。
- 巡回にかかる時間20分程度／回※である。※ドローンの飛行時間

本事例における課題

- 気象条件などによって、ドローンが運用できないケースが存在する。
- 航空施設と隣接するため、ドローンの運用範囲が制限される。

參考資料

対応表

「化学設備等の定期自主検査におけるドローン導入マニュアル」及び「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」と本事例集の対応を示す。

化学設備等の定期自主検査におけるドローン導入マニュアル	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	プラント設備等におけるドローンを活用した点検事例集（本事例集）
1章 概要	1章 概要	
2章 ドローンの導入にあたっての事前準備		
2.1 ドローンの飛行に係る代表的な法令	1.3 航空法の適用について 1.4 電波法の適用について	<ul style="list-style-type: none"> 各種法令の確認
2.2 申請等が必要となる可能性のある法令		<ul style="list-style-type: none"> 各種法令の確認
2.3 関係機関との協力関係の維持（事前協議の実施）	2.5 事前協議等の実施（通常運転時） 3.5 事前協議等の実施（設備開放時等）	<ul style="list-style-type: none"> 関連機関との事前協議
2.4 飛行体制についての要件	2.1 ドローン運用事業者の選定（通常運転時） 2.2 操縦者の要件（通常運転時） 3.1 ドローン運用事業者の選定（設備開放時等） 3.2 操縦者の要件（設備開放時等）	<ul style="list-style-type: none"> ドローン運用事業者
2.5 使用する機体の要件	2.3 使用する機体の要件（通常運転時） 3.3 使用する機体の要件（設備開放時等）	<ul style="list-style-type: none"> 使用機器
3章 ドローン活用前の準備		
3.1 飛行計画書の作成と提出	2.4 飛行計画書の作成と提出（通常運転時） 3.4 飛行計画書の作成と提出（設備開放時等）	<ul style="list-style-type: none"> 飛行目的・飛行計画の設定 リスクアセスメント・リスク対策
3.2 事前現場確認の実施		
4章 ドローンの活用当日の確認事項		
4.1 飛行前の確認事項	2.6 ドローンを活用した点検等の実施（通常運転時）	<ul style="list-style-type: none"> ドローンを活用した点検等の実施
4.2 飛行中の確認事項	3.6 ドローンを活用した点検等の実施（設備開放時等）	
4.3 飛行後の確認事項		
4.4 飛行記録等の作成と提出	2.7 飛行記録の作成と提出（通常運転時） 3.7 飛行記録の作成と提出（設備開放時等）	
5章 ドローンが撮影した画像を活用した目視検査の実施		
5.1 撮影対象、検査範囲の検討		
5.2 撮影環境の確認		
5.3 使用する機体の機能・性能		<ul style="list-style-type: none"> 使用機器
5.4 画像等の撮影		<ul style="list-style-type: none"> ドローンを活用した点検等の実施（撮影）
5.5 画像による目視検査の実施		<ul style="list-style-type: none"> ドローンを活用した点検等の実施（撮影）
6章 関連法令等	5章 関連法令等	

風速想定と落下範囲予測について

十分な離隔距離の考え方の例について

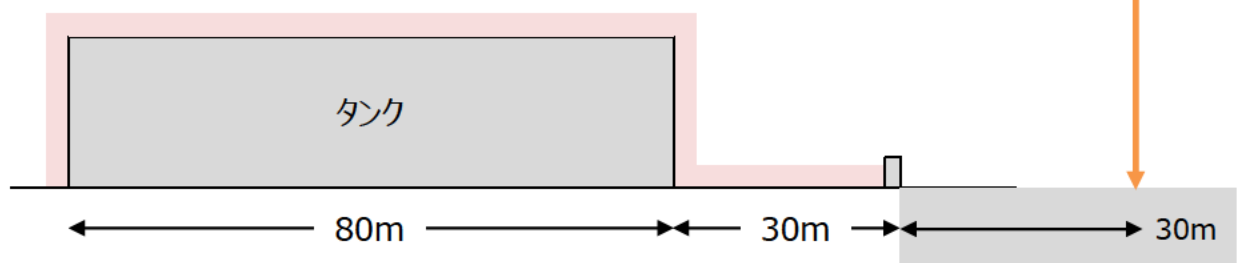
リスクアセスメントに際し、ドローンの異常時に、爆発性雰囲気生成する可能性があるエリアの近傍や火気の制限があるエリアの近傍へ落下しないよう、十分な離隔距離を確保する必要があるが、この十分な離隔距離について、本実験においては、以下のように検討を実施した。

- タンクを囲む防油堤との離隔距離30mの位置を飛行するとした際の概念図を以下に示す。
- 本実験においては、離隔距離を一定とし、風速に応じて飛行高度を上下させることで、“落下予測範囲”が常に30m以内となるように調整するというリスク対策を実施した。
- 風速と飛行高度の関係の算出根拠について、次ページに示す。

**風速と飛行高度関係
(離隔距離30mの場合)**

風速	許可する飛行高度
6.5m/s以下	120m
7.0m/s以下	80m
7.5m/s以下	50m
7.5m/sを超えた場合	飛行中止

※ドローンの落下時の終端速度は15m/sであるが、安全側に平均10m/sとして算定。



風速想定と落下範囲予測について

十分な離隔距離の考え方の例について

十分な離隔距離を確保するための風速と高度の関係性について、以下2つのステップに基づき算定した。

1. 風速とドローンが風に流される距離の関係の推定
2. 地上風速とドローンの飛行高度における風速の関係の推定

1. の推定にあたっては、「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト／性能評価基準等の研究開発／無人航空機等を活用した物流システムの性能評価手法等に関する研究開発」（平成30年3月：国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、委託先 株式会社自律制御システム研究所）及び、野村卓史、小林俊熙「ドローンの飛行モデルに関する基礎的検討」（平成29年度日本風工学会年次研究発表会）、さらに選定したドローンメーカーによる落下試験結果を参照し、以下の式による推定を行った。

■ ドローンが受ける空気抵抗の算定式： $F = \rho C (v-u)^2 \times A / 2$

ここで、 ρ ：風の密度（ 1.2kg/m^3 ）、 C ：抵抗係数（ $=0.4$ 、水平圧の場合で参考文献より引用）、 $v-u$ ：相対速度（ここでは、風速の影響のみを仮定）、 A ：本体の受風面積（選定したドローンにより変動）

■ ドローンの加速度： $a = F/m$

ここで、 m ：ドローンの重量（本実験ではカメラ付きを想定し、 7.5kg 程度）

■ t 秒に移動する水平距離： $L = (at^2)/2$

実験結果より、高度 120m を仮定すると、自由落下の場合 12s 程度、パラシュートありの場合 30s 程度と推定される。

2. の推定にあたっては、以下の式より、観測風速とドローンの飛行高度での風速の関係を推定した。本推定に従い、飛行中止基準として、ドローンの飛行高度における風速 10m/s を超えないよう、地上側風速 7.5m/s という実験中止基準を設定した。

$$v(z) = v(z_0) \left(\frac{z}{z_0} \right)^\alpha$$

ここで、 z_0 ：風速観測地点の高さ（根岸製油所においては $7.5[\text{m}]$ ）

$v(z_0)$ ：風速観測値 $[\text{m/s}]$

α ：地表面粗度区分IIを仮定し、べき指数は、 $0.15[-]$ とした。

出典：「プラントにおけるドローン活用事例集Ver3.0」（15、16ページ）

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）

プラントの点検等に係る技術動向について

ドローンを活用したプラント点検に係る技術は目覚ましい発展を見せている。また、ドローンに搭載するセンサーを工夫することで、目視以上の情報を取得することも可能となり、ドローンの活用の幅は更に広がりつつある。

ここでは、厚生労働省委託業務 令和2年度「化学設備に係る検査等技術の高度化に対応した新たな検査手法の検討事業」及び令和3年度「化学設備に係る新たな検査手法の検討事業」において調査された、プラントの点検等に係る最新技術について簡単に紹介する。

ドローン 技術・活用方法

- ドローンが撮影した画像を活用して設備の3Dモデルの作成
- ドローンを活用した非破壊検査
- 赤外線ガス検知カメラを搭載したドローンを活用した可燃性物質検査
- マイクロドローンを活用した設備内の狭小部等の点検
- 水中ドローンを活用した排水タンク、配管等の点検
- ドローンの運用（飛行プラン作成⇒飛行⇒データ蓄積⇒データ解析）を一括で自動化したプラットフォーム

その他（AI等） 技術・活用方法

- 画像、映像をAIで解析することでサビ、クラック、漏油・漏水の検知やアナログメータの読み取りの実施
- ロボット、ソフトウェア、AI解析を連携して、ロボットの自動巡回、データ取得・解析・保存等の実施

<おわりに>

本冊子は、厚生労働省委託業務 令和3年度「化学設備に係る新たな検査手法の検討事業」において作成された。