

プラントにおけるドローン活用事例集 Ver4.0

2024年9月

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)

◆まえがき

現在、石油精製、化学工業（石油化学を含む）等のプラントにおいて、生産性の向上や安全・安定的な操業の維持が求められる中、プラント設備の高経年化や若手の経験不足、ベテラン従業員の引退などによる保安力の低下が大きな課題となっています。

こうした中、プラントにおいてドローンを活用することにより、塔類等の高所点検の容易化や大型石油貯槽タンク等の日常点検頻度の向上による事故の未然防止、災害時の迅速な現場確認が可能となり、プラントの保安力・利便性の向上や労働災害の減少に繋がることが期待されています。

一方で、高圧ガスや危険物を扱うプラントにおいては、防爆エリアへの進入及び設備への落下等を防ぎ、安全に利用することが重要です。そこで、プラント事業者がドローン活用を検討する際の参考とすべく、先行事例をとりまとめました。また、Ver 3.0の作成にあたり、2019年にとりまとめた「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」（防爆ガイドライン）に基づき、非危険区域として再評価したエリア内において至近距離でのドローン飛行についても整理しました。

本事例集が、プラントでのドローン活用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。

最後に、本事例集の策定にあたり、「プラントにおけるドローン活用に関する安全性調査研究会」にご参画いただいた委員・オブザーバーの方々をはじめ、ご協力をいただきました関係者の皆様に深く御礼申し上げます。

目次

1．国内企業の活用状況	P.3
2．実証実験の事例	
①屋外での実証事業（2018年度）	P.6
②屋内（設備内部）での実証事業（2019年度）	P.19
③屋外での実証実験（2020年度）	P.28
④屋外での実証実験（2020年度） ※2021年3月新規追加	P.52
3．国内企業の事例	P.63
4．海外企業の事例	P.80

1. 国内企業の活用状況

※2019年3月時点

国内の石油精製、化学工業（石油化学を含む）等のプラント事業所に対しアンケートを実施し、国内プラントにおけるローンの活用状況について示す。

国内企業のドローン活用状況

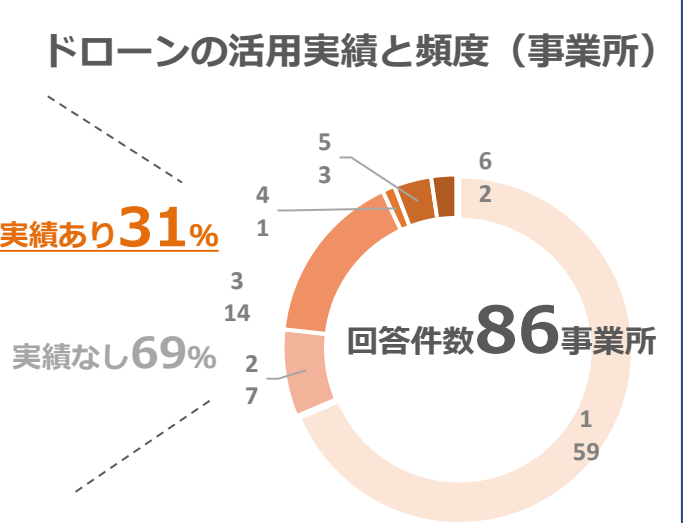
調査概要	
調査方法	国内の石油精製、化学工業（石油化学を含む）等のプラント事業者のドローン活用状況を把握するため、石油連盟、石油化学工業協会、日本化学工業協会の会員企業に対し、2018年12月～2019年1月にかけてアンケート調査を実施した。
回答数	回答は41社86事業所から得られた。

国内企業のドローン活用状況

活用実績の 有無及び頻度

41社86事業所のうち、16社27事業所が活用実績あり、30社59事業所が活用実績なしであった。

また、活用実績がある27事業所のうち、21事業所が数回実験した程度である一方で、月に数回活用すると回答した企業も3社あり、全体としては実証試験の段階にあることが想定される。またその他と回答した企業では災害対応（防災訓練含む）に活用したことがあるとの回答であった。



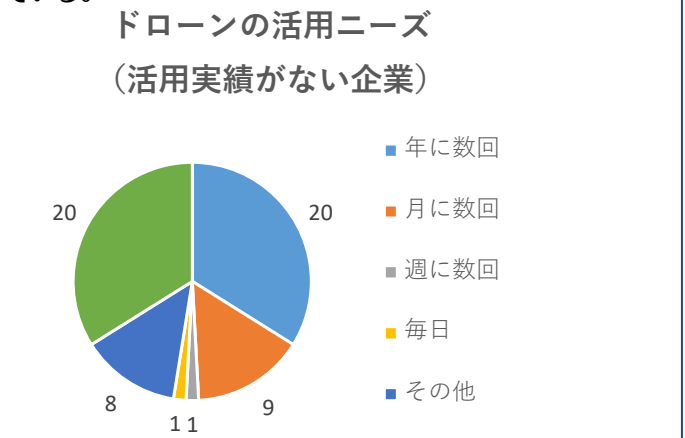
ドローン活用ニーズの有無

活用実績のある27事業所については、全ての事業所で活用ニーズがあり、年に数回活用したいという回答が最も多かった。次に活用実績がない59事業所については、39事業所で活用ニーズがあり、こちらも年に数回活用したいという回答が最も多かった。

回答事業所全体では7割以上の事業所がドローン活用ニーズを有しているが、実際に活用実績がある企業が現時点では半分以下の3割程度にとどまっている。

ドローンの活用ニーズ
(活用実績がある企業)

頻度	企業数
年に数回	14
月に数回	6
週に数回	2
毎日	0
その他	5



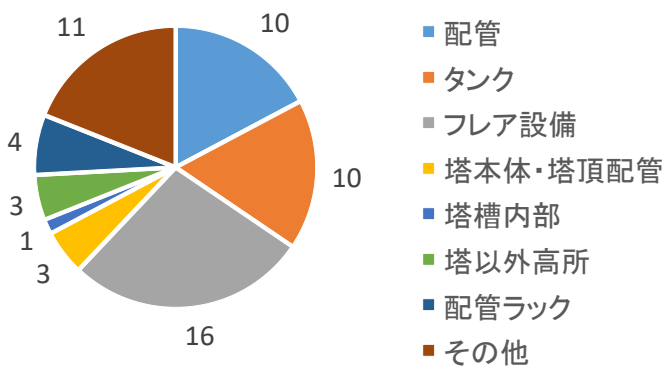
国内企業のドローン活用状況

ドローンを活用した点検実施箇所・活用時の留意点

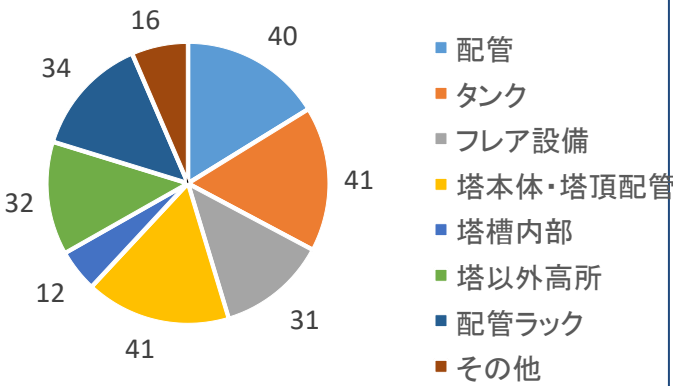
点検実施箇所

活用実績のある27事業所が、ドローンを用いて点検を実施した箇所で、最も多いのはフレア設備、次いで配管、タンクとなった。次に活用実績の有無に関わらず集計した、今後点検を実施したい箇所については配管、タンク、塔本体・塔頂配管が多く、次いでフレア設備、塔以外の高所、塔槽内部となった。高所の点検作業を中心にドローンの活躍が期待されていることがわかる。

点検を実施した箇所



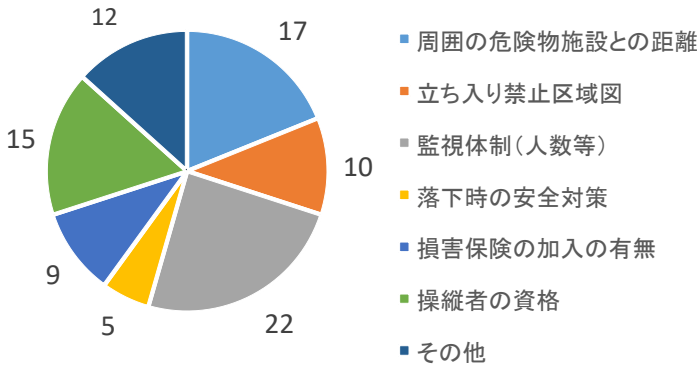
点検を実施したい箇所



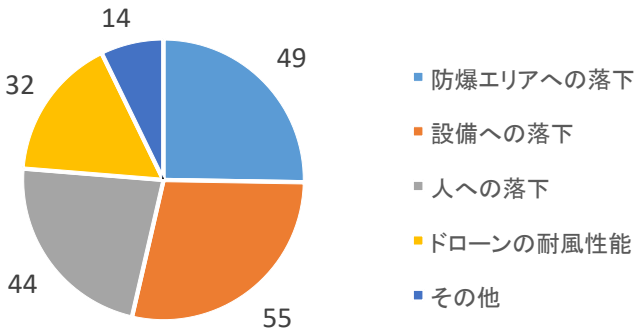
ドローン活用時の留意点

活用実績のある27事業所が、ドローンの活用時に留意した点で最も多いのは、監視体制に次いで周囲の危険物施設との距離、立ち入り禁止区域図、操縦者の資格等となった。次に活用実績の有無に関わらず集計した、今後ドローンを活用するに際し懸念する点については、防爆エリアへの落下、設備への落下、人への落下といったドローンの落下への懸念が多く、次いでドローンの耐風性能についても懸念があることがわかる。その他、自律運転やマニュアル操作時に、操作ミスや操作不能（機器の故障、電波障害、雨風等）により、設備、飛行予定区域外や敷地外へ落下すること、風に煽られる等による送電線への接触、電波障害によるプラント制御装置の誤作動、近隣住民からの騒音やプライバシー侵害に対する苦情、ドローンの防爆性能などの懸念点が上がった。

活用時に留意した点



活用に際し懸念する点



2. 実証実験の事例

①屋外での実証事業(2018年度)

経済産業省委託事業「平成30年度新エネルギー等の保安規制高度化事業」の中で、JXTGエネルギー株式会社根岸製油所においてドローン活用実証実験を実施した。本実験に関する内容や実験に際してのリスクアセスメント・リスク対策、実験結果について示す。

実証実験の実施概要

実証実験の位置づけ

「平成30年度新エネルギー等の保安規制高度化事業」において、プラントにおけるドローン活用について、特有の課題や条件など整理・検討し、ドローンが危険エリア等に落下・進入することのない運用について整理を行った。また、同事業における検討及び課題整理にあたり、運用時の留意点を明かにするため、実証実験を実施した。

概要

地震発生時に原油タンクの浮屋根が揺れることで原油が屋根上に漏れてしまった状態や、屋根の腐食により原油が屋根上に染み出してしまった状態を早期に発見するため、防爆エリアへの落下・侵入を防ぐ安全対策を取った上で、ドローンによる原油タンクの浮屋根の撮影を行う実証実験を実施した。

日程及び場所

日程：2019年2月4日（月） ※ 2019年1月30日（水）に予備実験を実施

場所：JXTGエネルギー株式会社 根岸製油所

使用したドローン

実験に使用したドローンの機能・性能は以下である。

項目	機能・性能
最高速度	20m/s（72km/h）
最高高度	150m
機体重量	6.4kg
カメラ搭載時の重量	7.5kg
対応天候	防水性（IPX3：傾斜60°の範囲の散水に対して保護されている）を超える雨天以外での飛行可
飛行方式	自律（VSLAM／GPS）、マニュアル（飛行中に切り替え可能）
誘導精度	・VSLAM > GPS（※ただし、VSLAMの使用は、通常高度20m以下に制限される） ・GPSの場合、通常数mの誤差
安全対策	・操作信号が途絶えた場合、指定地点へ帰投
搭載カメラ	a6000を搭載実績あり、他市販カメラを搭載可能 レンズフィルタは使用実績なし

ドローンの飛行目的・撮影対象等の選定

【飛行目的】 原油タンクにおいて、地震発生時に浮屋根が揺れることで原油が屋根上に漏れてしまった状態や、屋根の腐食により原油が屋根上に染み出してしまった状態を早期に発見することを想定し、ドローンによる上空からの撮影を行う。

【撮影対象】 原油タンク群の浮屋根

ドローン運用事業者の選定

今回の実験では、プラントにおける飛行実績を豊富に有しているなど、特にリスク対策を念頭に、信頼性の高いドローン事業者を選定した。また、飛行可能最大風速10m/s（風洞実験にて風速14～18m/s下での安定飛行の実績あり）、GPSによる飛行ルートの設定、通信遮断時等の自動帰還、障害物自動回避、GPS・センサーによる自律飛行などの機能・性能を持つ、信頼性の高い機体を選定した。

飛行目的・飛行計画の設定

【目的】 原油タンク群の浮屋根の点検

【撮影方法】 静止画撮影／動画撮影

【撮影対象】 原油タンクの浮屋根上部

【飛行区域の状態】 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

【飛行ルート】 原油タンク群の外周道路上

【飛行日時】 2019年2月4日 10:00～16:00

【実施体制】 操縦者、補助者、監督者、ドローン監視員、風速監視員 各 1 名、
連絡員、交通整理員 各 2 名

（※本飛行は、実際の点検等ではなく、プラントでドローンを安全に飛行させる方法を検討することを目的とした実験であるため、これに対応した監視人数となっている）

リスクアセスメント

飛行経路の状態が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である点を踏まえ、リスクアセスメントを行った。

ドローンの落下等による人的被害や設備の破損のリスクについて、以下の原因を想定した。

- 作業員、通行車両、設備等の上空での飛行
- 悪天候、強風時での飛行
- 瞬間的な強風によるドローンの落下や制御不能に陥る可能性
- 飛行中の鳥獣との接触
- GPSの不具合及び通信不良等による飛行への影響

また、爆発性雰囲気を生成する可能性があるエリアや火気の制限があるエリアヘドローンが侵入し、着火するリスクについて、以下の原因を想定した。

- ドローンの機能に不具合が生じ、ドローンが停止、落下すること
- 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、機体が風に流されること
- 落下等の衝撃によりバッテリーが破損し、着火すること

リスク対策

上記リスクアセスメントの分析結果に応じ、以下のリスク対策を取ることとした。

- 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行った。
- 飛行ルート付近の作業員や車の交通量に応じた適切な監視体制を構築するため、飛行ルート下の道路において、必要に応じて交通制限を行えるよう、誘導員を配置。また、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安全管理者を配置した。
- 補助者を配置し、実験関係者以外の立入りを監視。また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を行うとともに、操縦者へ必要な助言（安全な距離、安全な着陸場所等について）を行った。
- ドローンに対する操作信号が途絶えた場合には指定地点へ帰投する設定を行った。
- 根岸製油所内で測定された高度7.5m位置での風速が7.5m/s以下飛行高度における風速が10m/s以下となるよう設定）であり、かつ天候が晴れ又は曇りの状態においてのみ実験を行うこととし、実験中に一定の風速（7.5m/s）を超えた場合は飛行を中止することとした。

リスク対策（つづき）

- 電波障害等がなく、十分に通信状況が安定していることを確認した上で飛行させた。
- 所内では無線計装等がドローンの操作用無線と同じ2.4GHzを使用しているが、飛行エリア内で電波干渉した場合においても、ドローンは自動で全14チャンネル中から空きチャンネルを選択する機能を有するため問題なく通信可能なことを確認した。また、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。
- GPSによる飛行が不安定な場合、直ぐに操縦者運転に切り替えるよう設定した。
- 防爆エリア内への侵入をしない飛行ルートを設定するため、ドローンが風に流され防爆エリアに不時着しないよう、風速に応じた十分な離隔距離を確保し、飛行高度を設定した。また風速の変化に柔軟に対処するため、製油所内の風速計を監視する風速監視員を配置し、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。
- ドローンが配管へ墜落した場合の影響については、NEDOの実証試験の結果を考慮し、鉄板への損傷が少ないことを確認した。
- 製油所に隣接する高速道路等の公道へ落下しないよう、公道から30m以上の離隔を確保した。
- 飛行直前にガス検知を実施した。
- 消火器を実験場所に配置する等、防火・消火体制を確保した。
- 一定の衝撃に対して、UN38.3認証（国連勧告輸送試験）を得た衝撃等に強いバッテリーを使用した。
- 鳥獣等の接近について覚知できるよう、空域を監視する人員を配置した。
- 原油荷役中は実験を中止することとした。

事前協議等の実施

飛行計画について、以下の事前説明・協議等を実施した。

- 根岸製油所内の所内関係部署への事前確認
- 根岸製油所内の防火・消火体制確保の一貫としての所内消防への事前説明
- 近隣住民からの問い合わせに対応できることを目的とした根岸製油所内総務Grへの事前説明
- 管轄消防への飛行計画の説明
- 管轄警察署への飛行計画の説明
- 管轄海上保安部への飛行計画の説明

ドローンを活用した点検等の実施

実験にあたり、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	確認タイミング	
			実験前	実験中
飛行前の確認	前提条件	飛行当日、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	体調面は問題ないか		
		飲酒はしていないか		
		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		
		プロペラの傷みはないか、取り付け向きはあっているか		
		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か、充電したか		
		バッテリーに傷、変形はないか		
		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		
	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		
	フライトモニター	フライトモニターがPCにインストールされているか		
		PCは充電されているか		
		データリンクユニットはあるか、破損していないか		
		フライトモニターが起動するか		
		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		
		Linkは100%か		
		RCは100%か		
		GPS情報は取得できているか		
		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		
プラント特有の確認	事前確認	フライトモニターとの方位のずれはないか		
		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		
		防火体制が確立しているか		
	飛行中確認	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		
		航行中のドローンの直下に接近する人、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		
本実証実験特有の確認	データ取得	計画通りの飛行状況(高度、緯度・経度)か		
		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		

※なお、機体運用に関する事前確認項目は、使用する機体により異なる。

飛行記録の作成と提出

■飛行記録

本実験に対し作成した飛行記録を下表に示す。下表では、実験当日に加え、予備実験の飛行記録も合わせて示した。

年月日	飛行させる者の氏名	飛行概要	飛行させた無人航空機	離陸場所	離陸時刻	着陸場所	着陸時刻	飛行時間	飛行の安全に影響のあった事項
2019/1/30	(氏名を記入)	タンク周辺飛行事前検証	(機体名を記入)	JXTG根岸敷地内	9:30	JXTG根岸敷地内	16:00	1:00	当初計画に高速道路付近が含まれていたため、飛行対象外エリアとした。
2019/2/4	同上	タンク周辺飛行	同上	JXTG根岸敷地内	9:30	JXTG根岸敷地内	16:00	1:00	特になし

予備実験時の飛行記録では、実験当日の飛行エリアを事前検証した結果、安全のため高速道路に近い飛行エリアを飛行対象外エリアとした旨を記載している。

実験当日の、実験中の風速10分平均値の最大は10時台の4.1m/sであり、11時以降は12時台の2.1m/sが最大であった。

■ヒヤリハット事例及び活用により得た知見

プラント内では配管を集約した場所があり、ここに道路上の交差点が重なった、見通しの悪い交差点となる場所が存在する。

このような見通しの悪い交差点付近にあるタンクを空撮する場合、地上側パイロットの安全確保のために交通を一定程度制限することは、逆に交通事故の原因となる可能性も考えられるため、両者の安全を確保できるような、プラントごとの道路状況に見合った適切な対処が必要となる。

そのため、ドローン運用事業者とプラント事業者は事前に飛行ルートの下見を行うことが望ましいと考えられる。

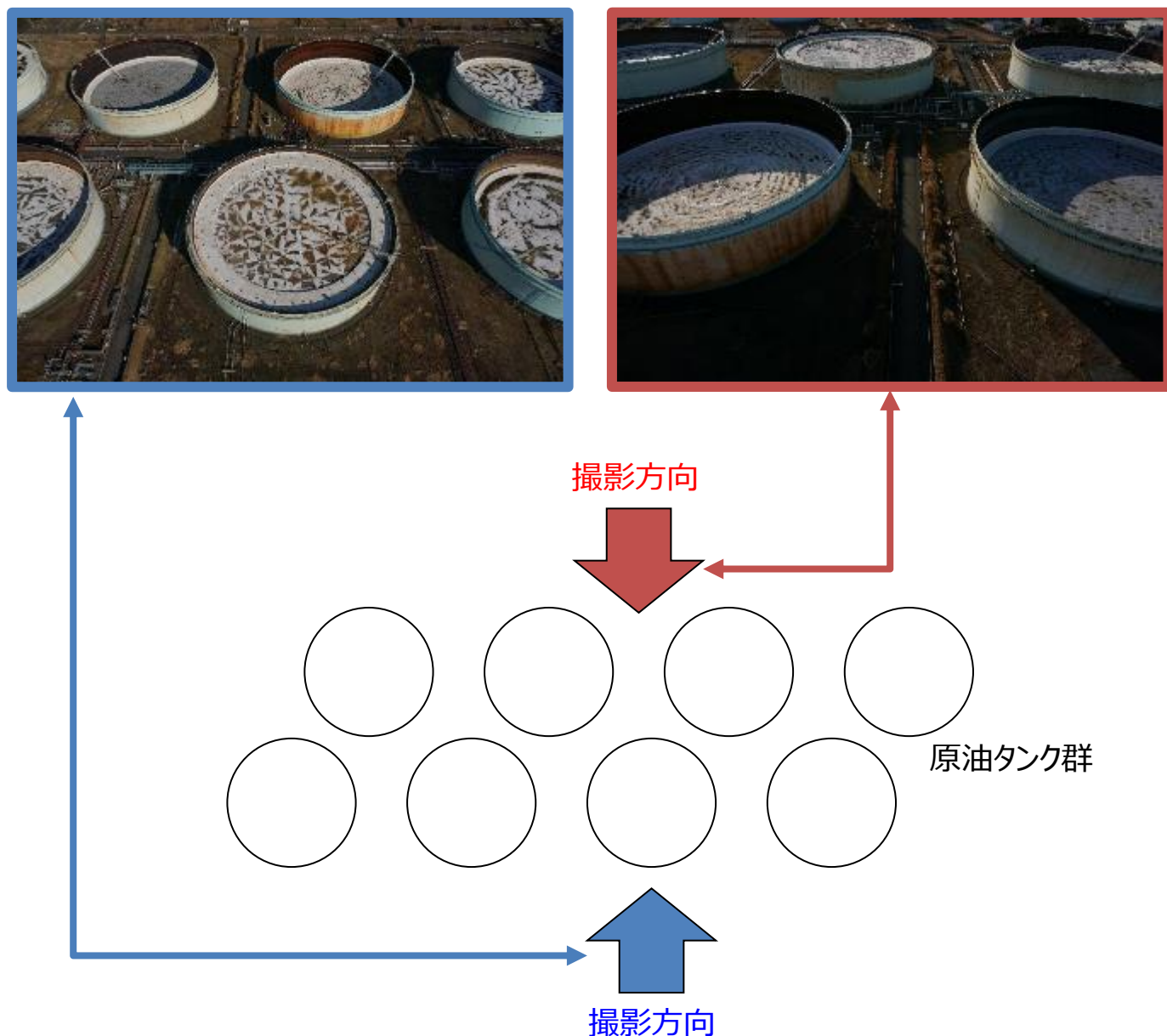
■その他

今後のドローン活用に向けて、本実験の目的に照らし、ドローン活用結果とその有効性について検討するため、実際に撮影した画像とともに、次ページに検討結果を示す。

実験結果とドローン活用の有効性

ドローンによる空撮が、浮屋根上の油溜まりの点検を代替できるようになるためには、空撮により対象とする全原油タンクについて、浮屋根全体を撮影できることが必要条件になる。

本実験の結果、撮影対象である16タンク中ほぼ全とと言える14タンクについて、浮屋根全体を確認することができた。以下に浮屋根全体の撮影に成功したタンクの撮影画像を示す。以下の青枠の画像と赤枠の画像は同じタンク群を互いに反対方向から撮影したものである。青枠の画像で奥側にあるタンクは浮屋根全体を確認することができないが、赤枠の画像を撮影することで、2枚の画像を合わせて浮屋根の全体を確認することが出来る。本実験ではこのような手法で原油タンク群16タンクの浮屋根撮影を試みた。



実験結果とドローン活用の有効性（つづき）

本実験の結果、16タンク中2つのタンクについてのみ浮屋根の一部が死角になり、全体を撮影することが出来なかった。

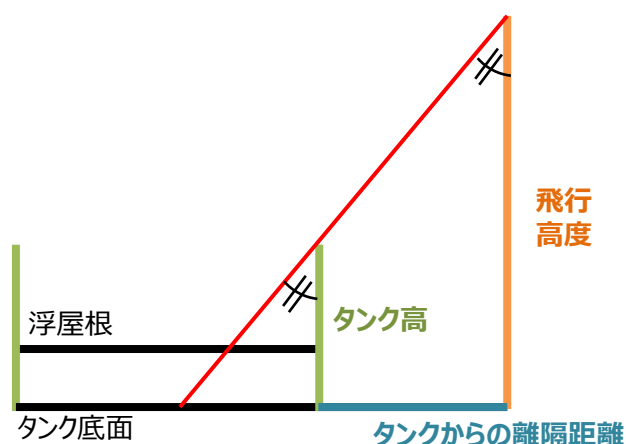
浮屋根の一部を撮影することが出来なかった原因としては、以下2点が重なったことが原因を考えられる。

- 十分な離隔距離を確保しつつ撮影した場合、タンクからの距離に応じて必然的に死角が発生してしまうこと
- 当日浮屋根が底部まで沈みこんでいたこと

以下に死角発生の際の構造の模式図、及び浮屋根の一部が撮影できなかったタンクの1つについて、空撮画像を示す。



同じタンクを180度異なる角度から撮影した画像。左の画像からかなり浮屋根が沈みこんでいることが確認できる。そのため右の画像のように水平距離が離れてしまうと、高度を確保しても浮屋根を撮影することが困難である（右図参照）。



(参考資料)

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。

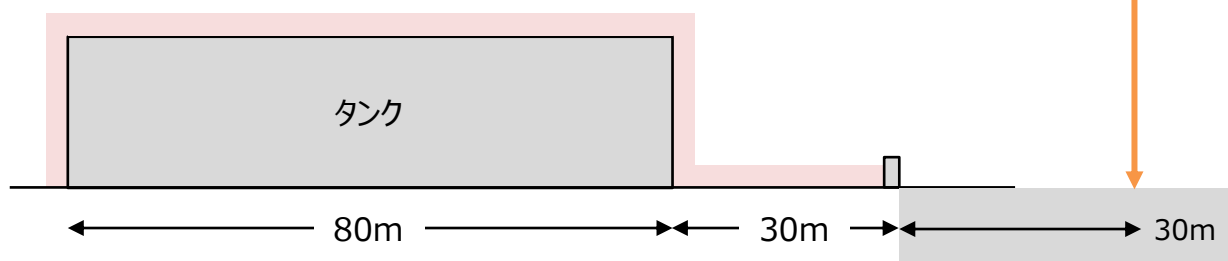
- タンクを囲む防油堤との離隔距離30mの位置を飛行するとした際の概念図を以下に示す。
- 本実験においては、離隔距離を一定とし、風速に応じて飛行高度を上下させることで、“落下予測範囲”が常に30m以内となるように調整するというリスク対策を実施した。
- 風速と飛行高度の関係の算出根拠について、次ページに示す。

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

120m
風速
6.5m/s
以下

※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。



(参考資料)

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「ドローンの飛翔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。

(参考資料)

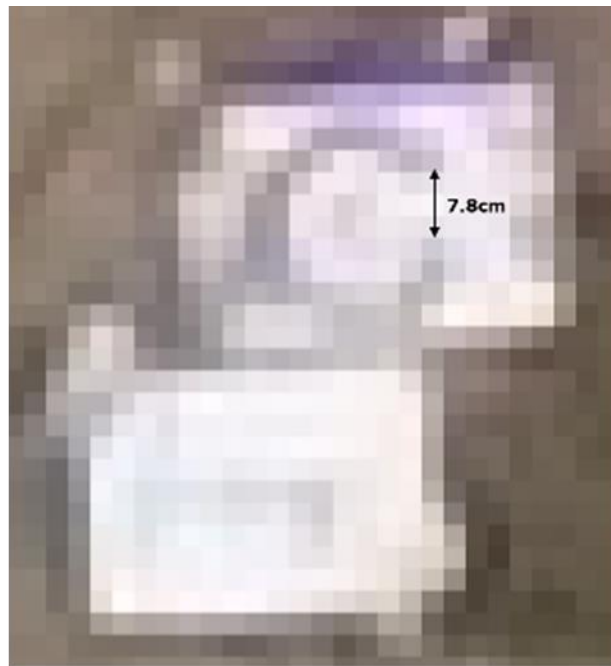
カメラの性能への影響について

本実験では、カメラとしてSONY α6000をドローンに搭載し、空撮を実施した。その機器構成から、ドローンの飛行中の振動によるブレや、逆光、さらにはタンク画像を撮影した際の影の影響などが懸念されたが、いずれも問題はなく、カメラが本来の性能を発揮することができた。特にブレに対する対策としては、カメラまたはレンズの手振れ補正機能及び、シャッタースピードの高速化が効果的と考えられる。以下に予備実験において撮影した画像を示す。

予備実験では、高度120mまで垂直飛行を行い、飛行安定性の確認や、カメラ設定の確認等、実験に向けた準備を行った。その中で、カメラが本来の性能を発揮できるか確認するため、左下図に示すようなA3用紙を2枚地面に設置し、高度120mからの撮影を実施した。撮影結果を右下図に示す。



地上1mから撮影した解像度確認用のA3用紙



高度120mから撮影したA3用紙

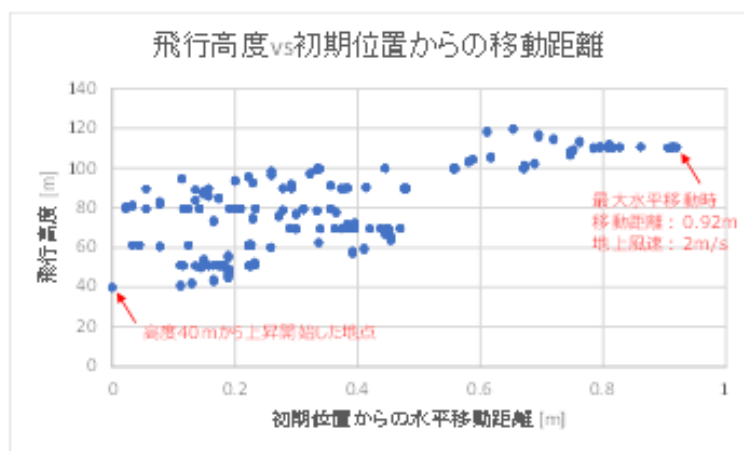
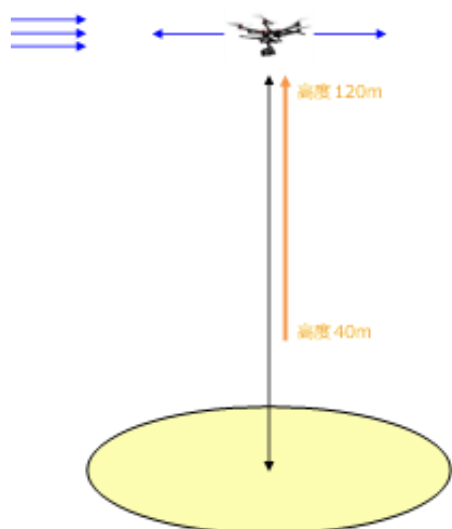
一番大きな「C」の文字の空白部分の長さは7.8cmとなっており、これが約3ピクセルで表示されていることが読み取れるため、1ピクセルあたり2.6cm程度の解像度が得られていることがわかった。これは本実験で用いたカメラの理論上の解像度と比較して遜色ないことから、ドローンに搭載した状態であっても、カメラ本来の機能が発揮できたと考えられる。

このことから、本実験の条件下では、プラントにおいてドローンを飛行させ空撮を行う際には、ドローンに搭載したことによる制約を考慮することなく、対象物までの距離と撮影したい対象物のサイズから適切な性能のカメラを使用すればよいことがわかった。

(参考資料)

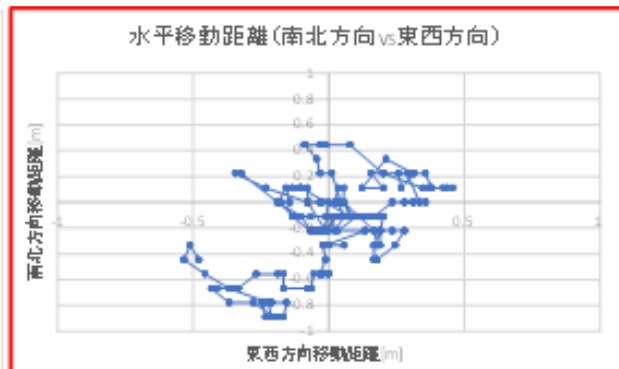
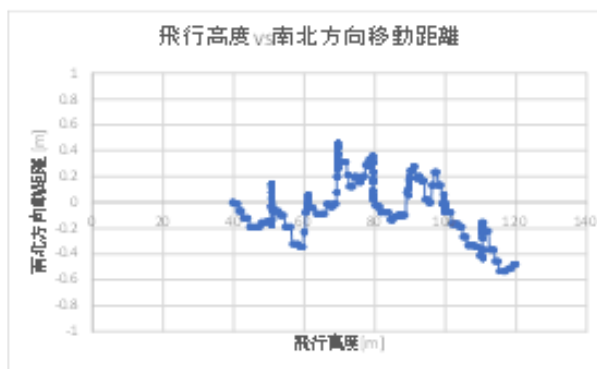
ドローンの飛行安定性について

予備実験では垂直飛行を行っているが、風の影響等により、水平移動が起こってしまうことが想定されていた。実際にどの程度の風速下で、どの程度水平移動してしまうかについて、以下にその結果を示す。以下の右図は、高度40mから120mへ上昇時に水平移動した距離を表している。

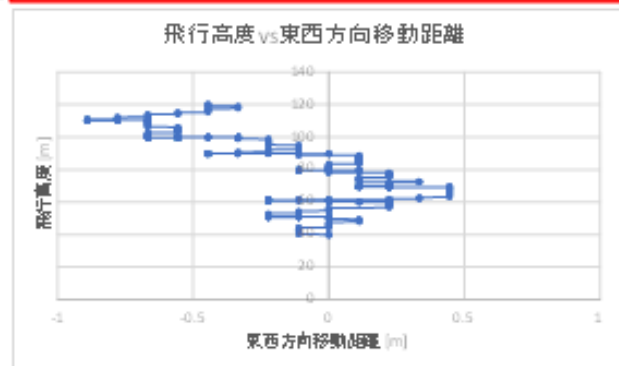


さらに詳細なGPSログについて下図に示す。

赤囲みの図に水平移動の軌跡を、その他の図に、南北方向の移動距離、東西方向の移動距離を高度別（時系列順）の移動を示した。



本GPSログの取得は、5分間、高度40mから120mへの上昇時のデータである。垂直飛行時には、10mごとにホバリングを行っており、ホバリング中の水平方向へのブレは、最大でも1m以内に留まっていることが分かる。



2. 実証実験の事例

②屋内（設備内部）での実証実験の事例（2019度） ※2020年3月新規追加

経済産業省委託事業「令和元年度新エネルギー等の保安規制高度化事業」の中で、出光興産株式会社千葉事業所においてドローン活用実証実験を実施した。本実験に関する内容や実験に際してのリスクアセスメント・リスク対策、実験結果について示す。

なお、本章はVer2.0作成にあたり新規に追加した。

実証実験の実施概要

実証実験の位置づけ

「平成31年度新エネルギー等の保安規制高度化事業」において、プラント設備内部におけるドローン活用について、特有の課題や条件などのリスクを整理・検討し、安全な運用方法について整理を行った。

概要

休止中の重油タンクにおける設備内部でのドローン飛行を実施した。

日程及び場所

日程：2020年1月29日（水） ※ 2020年1月30日（木）に予備実験を実施

場所：出光興産株式会社 千葉事業所

使用したドローン

屋内空間では狭小空間での使用も想定されるため、今回はFlyability社のELIOS及びELIOS2を使用した。使用したドローンの機能・性能の概要を以下に示す。なお、アセスメント飛行によりELIOS2の方が安定していたことから、詳細な飛行はELIOS2を用いた。

項目	機能・性能(ELIOS／ELIOS2)
サイズ	400mm(球体直径) ／ 400mm(球体直径)
機体重量	700g ／ 1450g
最大飛行時間	10分間 ／ 10分間
耐風性能	3.0m/s ／ 点検時1.0 m/s(性能上最大5.0m/s)
通信距離	水平500m、鉛直150m ／ 500m(障害物がない場合)
屋内高度維持	△(気圧計のみによる) ／ ○(気圧計と各種センサーによる)
障害物検知	× ／ 下方向なし、水平5方向にセンサーあり
静止画撮影機能	なし ／ 4000×3000
動画撮影機能	FHD 1920×1080 (160×120) ／ 4K、FHD1920×1080 (160×120)

ドローンの飛行目的・撮影対象等の選定

【飛行目的】 特殊球体ドローンを用い、非GPS環境及び目視外のマニュアル操縦により、タンク内部を安全にドローンを飛行できるかの確認を行う。

【撮影対象】 タンク内部の溶接線、天井のボルト等及び、腐食した配管サンプル

ドローン運用事業者とドローンの選定

今回の実験では、プラント等の設備内部における飛行実績を豊富に有しているなど、特にリスク対策を念頭に、信頼性の高いドローン事業者を選定した。また、球体状のカーボン繊維に覆われている、設備内部での飛行に強みを持つ機体を選定した。ただし、狭小空間飛行に適した防塵性やプロテクタを備えていれば、球形ドローン以外の機体も使用可能と考える。

飛行計画の設定

【目的】 タンク内部の溶接線、天井のボルト等及び、腐食した配管サンプルの点検

【撮影方法】 静止画撮影／動画撮影

【撮影対象】 タンク内壁の溶接線、壁面のノズル、天井フレームのボルトおよび溶接部
撮影用に設置したサンプル（腐食した熱交換配管のカットサンプル）

【飛行区域の状態】 爆発性雰囲気を生成する可能性がないエリア

【飛行ルート】 休止中の重油タンク内部

【飛行日時】 2020年1月29日 9:00～16:00

2020年1月30日 9:00～12:00

【実施体制】 操縦者、安全運航管理者、補助者 各 1 名

（補助者の役割は、自己位置、ドローン・カメラ・照明の角度の指示等）

出光千葉事業所の設備管理担当、保安管理担当各 1 名

リスクアセスメント

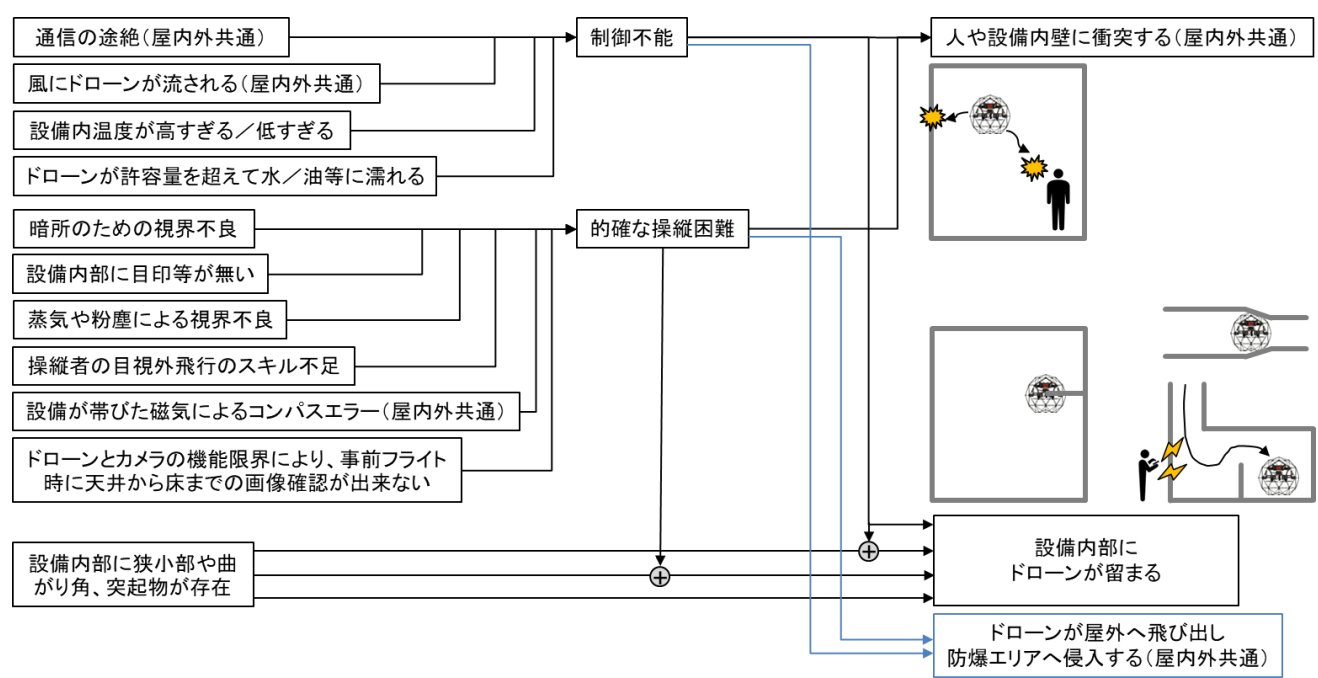
飛行経路の状態が爆発性雰囲気生成する可能性がないエリア並びに発火・燃焼が生じてこれが拡大・継続しないエリアである点、及び設備内部である点を踏まえ、リスクアセスメントを行った。

1) 想定されるリスク

想定されるリスクは大きく3つであり、ドローンの落下等による人的被害や設備の破損のリスク、及び設備内部にドローンが留まってしまうリスク、並びにドローンが屋外へ飛び出して防爆エリアへ侵入するリスクである。

これらはドローンが制御不能になる、又はドローンを的確に操縦することが難しくなることで引き起こされると考えられる。この制御不能または的確な操縦が困難になる原因について、以下を想定した。

- 通信の途絶
- 悪環境（強風、許容を超える設備内温度、許容量を超える水／油濡れ）
- 自己位置が推定できない（暗所・粉塵等による視界不良、目印等が存在しない、コンパスエラー、設備内部状況の事前把握が不十分）
- 操縦者の目視外飛行のスキル不足



想定されるリスクのイベントツリー図

リスクアセスメント（続き）

2) リスク対策

上記リスクアセスメントの分析結果に応じ、以下のリスク対策を取ることにした。

- あらかじめタンク内にレンジエクステンダーを挿入し通信環境を改善。さらにアセスメント飛行中にプロボの電波インジケータで電波状態が良好であることを確認した。
- 事前確認で設備内温度や、許容量を超える水／油濡れがないことを確認した。
- 設備図面にて目印となる物（マンホール等）を事前確認。アセスメント飛行時に粉塵等視界不良の原因となる物がないことを確認。
- 目視外飛行に関する十分なスキルと経験のある操縦者に依頼。

事前協議等の実施

飛行計画について、以下の事前説明・協議等を実施した。

- 製油所内の所内関係部署への事前確認
- 製油所内の防火・消火体制確保の一貫としての所内消防への事前説明
- 管轄消防への飛行計画の説明

なお、今回は屋内（設備内）での飛行であり、機体が施設外へ飛び出すリスクは無いため、所轄警察署、海上保安部等への計画説明は実施しなかったが、施設外へ飛び出すリスクがある場合は事前説明が必要である。

点検等の実施

実験にあたり、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	内容	チェック
機体	全体的に過度な汚れはないか	
	プロペラは緩んでいないか	
	プロペラに割れ欠けがないか	
	モーターに引っかかりは無い	
	ケージに折れはないか	
	隣り合うケージは強固に固縛されているか	
	LEDライトは点灯するか	
	ジンバル構造に引っかかりは無い	
	カメラサーボは正常に動くか	
	カメラレンズに汚れはないか	
	S Dカードは挿入されているか/フォーマットされているか	
	各種センサーに汚れはないか	
プロポ	センサーバインドは完了しているか	
	プロポの電池残量は十分か	
	プロポと機体はバインドされているか	
タブレット	プロポの操作に潰れや引っかかりはないか	
	タブレットの充電はされているか	
エクステンダー	キャッシュは削除されているか	
	ケーブルは健全か	
バッテリー	バッテリーはすべて充電されているか	

※なお、機体運用に関する事前確認項目は、使用する機体により異なる。

飛行記録の作成と提出

■ 飛行記録

① 実施日時

2020 年1 月29 日9:00～16:00

2020 年1 月30 日 9:00～12:00

② 人員

【操縦者】（名前）、【安全運航管理者】（名前）、【補助員】（名前） 計3 名

③ 使用機体

Flyability 社製 ELIOS ELIOS2

④ 飛行場所

〒299-0192 千葉県市原市姉崎海岸2 番地1 地内

出光興産株式会社 千葉事業所 ドームルーフタンク

表 1.飛行実績

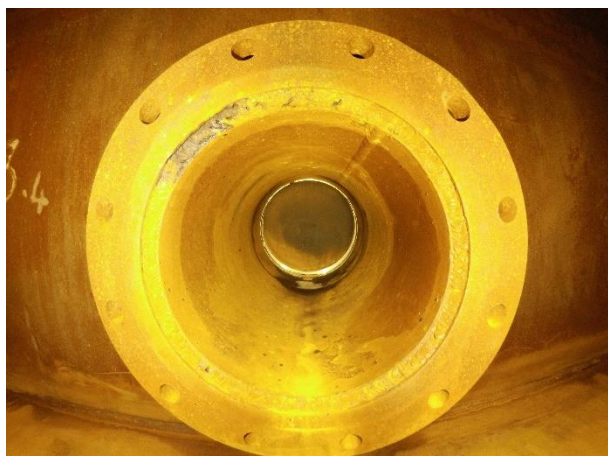
日付	時刻	内容	場所
1 月 29 日	09:54	アセスメント飛行	全体俯瞰
	10:02	アセスメント飛行	天井部
	10:27	スクリーニング飛行	溶接部照明調整
	11:17	アセスメント飛行	タンク出入口
	11:28	スクリーニング目視飛行	タンク内壁溶接線
	11:35	安全措置の検証	タンク内壁
	11:42	安全措置時の挙動確認	タンク内壁
	13:46	詳細飛行	試験体（正面から）
	13:55	詳細飛行	ノズル小
	14:05	詳細飛行	ノズル大
	14:13	詳細飛行	天井部ボルト
	14:50	説明飛行	関係者説明
	14:55	詳細飛行	試験体（斜めから）
	15:33	詳細飛行	溶接線（横）
	15:42	詳細飛行	溶接線（縦）
1 月 30 日	09:01	取材飛行	タンク内壁

実験結果とドローン活用の有効性

実証実験において撮影した、壁面の溶接線、側面下部のノズル、天井部のボルト、腐食した配管サンプルの撮影結果を以下に示す。



壁面の溶接線



タンク底面のノズル



天井のボルト



腐食のテストピース

実験結果とドローン活用の有効性（続き）

1）ドローンで確認出来たこと

- ・溶接線や壁面のスケールの付着・堆積状況の確認
- ・大きな腐食部位や損傷状況の確認
- ・足場を要する高所（例えば天井の通気口内や、骨組みボルト）の劣化状況確認
- ・腐食配管サンプルを撮影し、配管の腐食・穴の有無の確認
- ・暗所でもドローン自身のライトを照射し、視認性を確保して検査が可能

2）課題

- ・表面状況確認は可能だが、スケールや腐食の下の確認にはケレン作業を要するため、ドローンでは対応できない
- ・現状の目視検査では、スケール量や腐食深さはデブスゲージ等を使用して計測して定量化するが、ドローンでは計測ができない

3）点検上の注意

・画像撮影においては照明の当て方とカメラの角度が非常に重要である。今回はパイロットと設備点検有資格者がペアになり、同一画面を見ながら有資格者が照明の当て方とカメラの角度等について詳細に指示をして撮影したことで有効な画像が撮影できた。撮影だけ先に行い、後から有資格者が録画画像だけを見て判断するというような使用方法では、有効な画像が撮影できない可能性があるため注意が必要である。

4）今後の期待

・新しい後処理技術として、3Dモデルを構築し、3Dモデル内に点検した画像等を紐付け、画像の保存が可能であり、今後、このような新技術を活用し、有効性が高まることが期待される。

2. 実証実験の事例

③屋外での実証事業（2020年度）

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」の中で、JSR株式会社千葉工場においてドローン活用実証実験を実施した。本実験に関する内容や実験に際してのリスクアセスメント・リスク対策、実験結果について示す。

なお、本章はVer3.0作成にあたり新規に追加した。

実証実験の実施概要

実証実験の位置づけ

2019年にまとめた「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」（防爆ガイドライン）に基づき、非危険区域として再評価したエリア内において至近距離でのドローン飛行も可能になったが、ドローン操作時の影響など、特有のリスクや課題が存在している。そこで、「令和2年度新エネルギー等の保安規制高度化事業」において、プラント内で従来は危険区域として、ドローンが入ることができなかった範囲を含めた定期点検や日常点検を実現するための検証のため、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や課題の有無を確認するため、実証実験を実施した。

概要

危険区域の精緻な設定を行い、非危険区域となった(1)稼働中のプラントの上空のドローンの巡回飛行、(2)高所設備の至近距離の飛行による撮影および、(3)従来の危険区域の外側をドローン飛行させプラント内を撮影する実証実験を実施した。

日程及び場所

日程：2020年12月18日（金）

場所：JSR株式会社 千葉工場

使用したドローン

実験に使用したドローンの機能・性能は以下である。

項目	機能・性能
最高速度	10m/sec(水平)、2m/sec(垂直)
最高高度	150m
機体重量	3.15kg
電波到達距離	500m以内
最大風圧抵抗	10m/s
最大飛行時間	33分（カメラ・ジンバル搭載時）
飛行方式	自律（VSLAM／GPS）、マニュアル（飛行中に切り替え可能）
誘導精度	・ VSLAM > GPS （※ただし、VSLAMの使用は、通常高度20m以下に制限される） ・ GPSの場合、通常数mの誤差
安全対策	・操作信号が途絶えた場合、指定地点へ帰投
搭載カメラ	Sony QX30U、他市販カメラを搭載可能

ドローンの飛行目的・撮影対象等の選定

【飛行目的】 従来は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し、定期点検や日常点検を実現するための検証する。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、課題の有無の検証する。

【撮影対象】 ポリブタジエン樹脂製造施設

ドローン運用事業者とドローンの選定

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。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。ドローン機体は、GPSによる飛行ルートの設定、通信遮断時等の自動帰還、障害物自動回避、GPS・センサーによる自律飛行などの機能・性能を持つ、信頼性の高い機体を選定した。

飛行計画の設定

【目的】 ポリブタジエン樹脂製造施設の点検

【撮影方法】 静止画撮影／動画撮影

【撮影対象】 ポリブタジエン樹脂製造施設

【飛行区域の状態】 危険区域の精緻な設定を行い、非危険区域となったエリアおよび内部がゾーン2に設定された建屋の上空

【飛行ルート】

1. 施設全体の巡回撮影
2. 施設全体を巡回し、特定のポイントで装置に近づいて撮影
3. 高所設備（蒸留塔）の撮影
4. 外周からの撮影（見直し前の非危険区域からの撮影）

【飛行日時】 2020年12月18日 13:30～15:30

【実施体制】 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 2 名

交通監視員 4 名

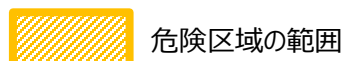
※プラントでドローンを安全に飛行させる方法を検討することを目的とした実験であるため、これに対応した監視人数で体制を整備

危険区域の見直し

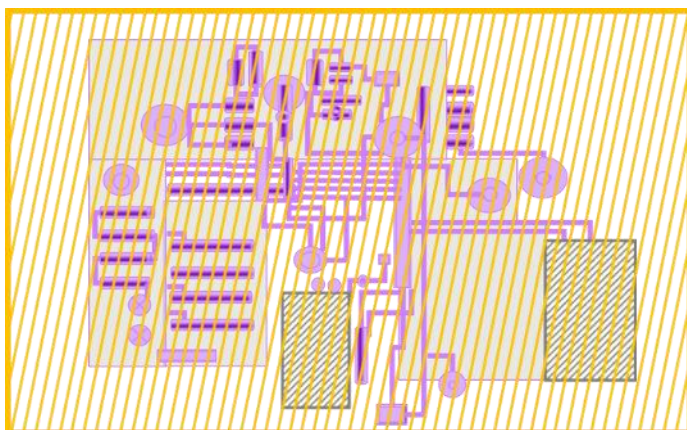
「プラント内における危険区域の精緻な設定方法に関するガイドライン」（防爆ガイドライン）に従って、4プラント中1プラントの評価、見直しを実施した。

危険区域の見直しが完了した、「ポリブタジエン樹脂製造施設」のあるプラントで今回の実証実験を行った。

対象のプラントにおいて、防爆ガイドラインに基づき評価した結果、プラント内の建物内部のみ、危険区域（第2類危険箇所）に設定された。

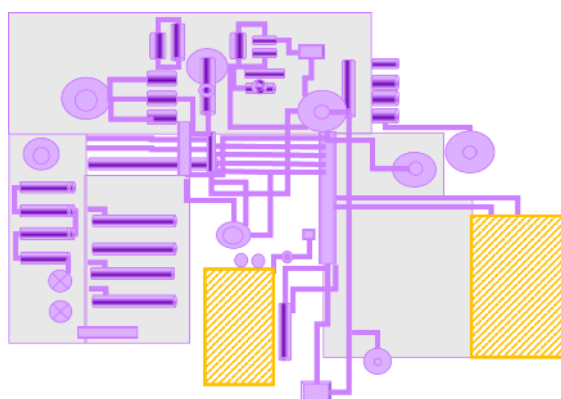


従来の危険区域の範囲



工場電気設備防爆指針に従って、プラント一体を第2類危険箇所に設定

見直し後の危険区域の範囲

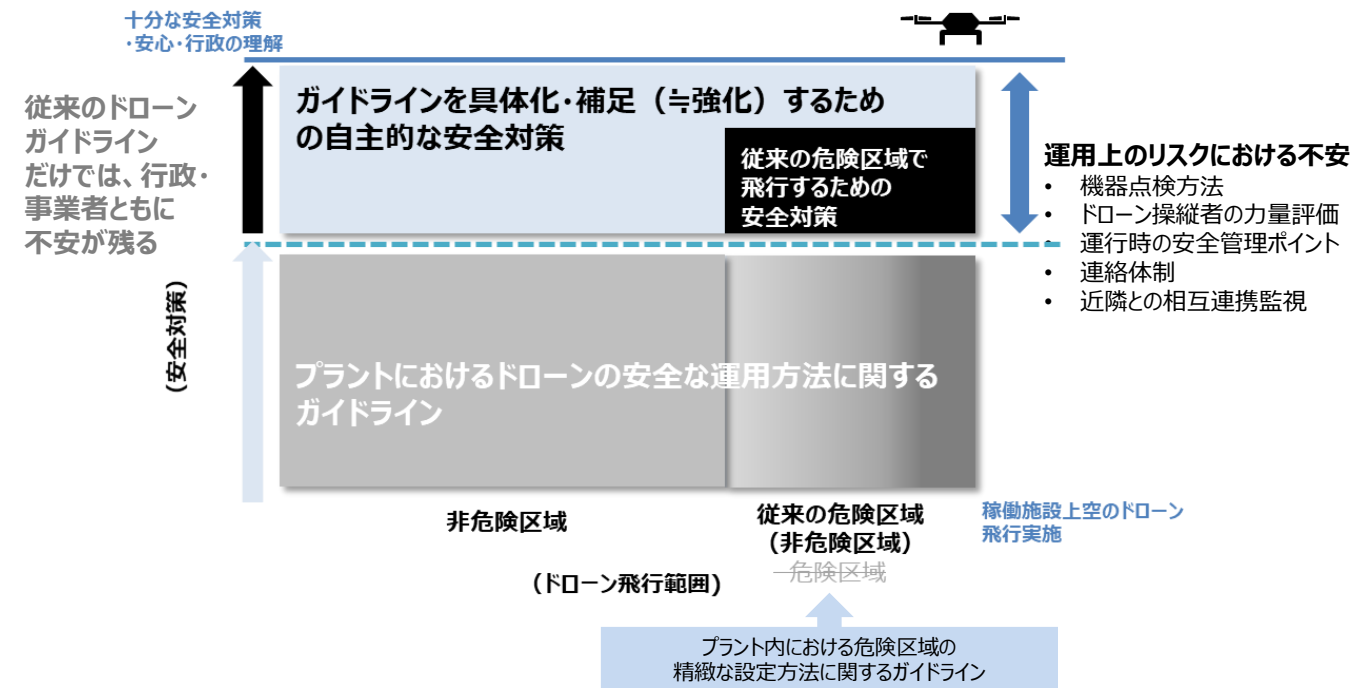


防爆ガイドラインに従って、評価した結果、プラント内の建物の内部のみ、第2類危険箇所に設定

- ✓ 非危険区域に評価されたエリアも、基本的には、危険な状態が起こりうるエリアである
- ✓ 常時、危険な状態でなく、非定常作業の際の危険のリスクを認識し安全対策をとることにより、非危険区域として作業が可能になった（非防爆の電子機器も利用できる時間ができた）として理解した上で評価に基づき、危険区域を判断した
- ✓ 非危険区域となり、常設型の電子機器も非防爆機器を導入できるようになった。しかし、非定常作業を考慮し、JSR千葉工場の方針として、非危険区域であっても、常設型の電子機器については、防爆仕様の機器を設置することを原則としている

稼働施設上空を飛行するための安全対策

今回、稼働中のプラントの上空を飛行するということに、ドローンガイドラインだけでは、行政や近隣事業者にも運用上の不安があった。そこで、自主的な安全対策を見せることによりドローンの飛行範囲拡大を図った。



ドローンガイドラインを具体化・補足（≒強化）したポイント

運用上のリスクにおける不安を解消するため、ドローンガイドラインを具体化・補足したポイントは以下3ポイントである。

1	操縦者技量の評価方法の明確化	- 必要とする技量の項目だけでなく、実際の飛行パターンと評価方法の図表を作成 - 操縦技能のほか、機体や法令の知識、安全管理などに関するドローン操作者に必要な力量の評価 - ドローン運用事業者による撮影の場合（外部委託の場合）、ドローン運用事業者への飛行箇所特有の情報（ローカルな情報）を共有（安全教育として実施）
2	安全対策の具体化と補足	- ドローンガイドラインの対策より具体的にするため、飛行計画書やドローンチェックシート、飛行記録表のひな型を設定 ドローンガイドラインに補足するリスク、及び飛行エリア特有なローカルのリスクとその対策を明瞭にしたリスクアセスメント表の作成
3	コンビナートでの自主的相互監視	航空法に基づく、情報開示（DIPSやFISS）*だけでなく、隣接企業への飛行情報提供（必要事項をメールで前日までに送信）により、近隣からのガス流入防止や不審ドローンの侵入を防止

操縦者技量の評価方法の明確化

稼働施設上空を飛行するために、ドローン飛行させる操縦者の技量を不明確であることが不安とされていた。

操縦者の技量は、ドローン運用事業者の操縦者の場合と、自社の操縦者の場合により評価ポイントが変わる。そのため、評価方法も、2パターン準備することが必要とわかった。

評価ポイント

ドローン運用事業者の操縦者の場合

1. 力量（飛行時間、操縦技量の基本チェック、機体知識把握のチェック、点検技量のチェック）
2. 事業者としての法的届け出状況のチェック、機体管理の確認の仕組みを持っているかのチェック
3. 飛行範囲での伝えるべきリスクと理解状況のチェック

自社の操縦者の場合

1. 必要スキル獲得のための飛行パターンによる到達レベル・飛行可能エリアのチェック
2. 操縦以外に知っておくべき必要事項のチェック

操縦者技量の評価方法の明確化（つづき）

今回は、ドローン運用事業者が操縦をしたため、ドローン運用事業者の操縦者の場合の評価方法により評価した。

事前に、飛行範囲に存在するプラント固有のリスク（ローカルの情報）について説明する**安全教育を実施**した。評価用のチェックリストを作成し、確認したことの記録を残した。

ドローン運用事業者への飛行環境の説明のためのチェックリスト（例）

項目	説明内容または説明資料例（必要に応じて追加）	説明後 ☑する
構内での基本遵守事項	飛行する事業所の入構教育資料	☐
ドローン飛行範囲	Plot若しくは立面図等による飛行ルートを示した図 離発着の位置、監視人の配置位置を図示	☐
飛行範囲におけるリスク	可燃性、有毒性のある使用薬品の説明 使用している薬品の有害情報がわかる資料	☐
	ドローン運用ガイドラインに加え補足として守るべき事項があることを補足事項添付のリスクアセスメント表で説明	☐
	飛行箇所固有のリスクアセスメント摘出事項の説明 例1 可燃性ガス放出可能性箇所 ・タンクの圧力を一定にするための排気口 ・ガス放散塔 例2 気流の乱れる箇所や高温箇所 ・冷却塔上方や大型回転機モーターの排気方向 ・燃焼空気の排気用煙突 （上記以外の摘出事項と対策も説明すること）	☐
飛行中止基準	雨、雷、風速（瞬間5m/s以上）、地震、津波発生時は飛行を中止することを再確認	☐
緊急時の連絡	連絡系統図、場外退避経路図	

飛行範囲に存在するプラント固有のリスクを理解したか、確認

実験を通して、受講者の理解を署名（サイン）で残すように修正

操縦者技量の評価方法の明確化（つづき）

ドローン運用事業者の操縦者用と自社の操縦者の評価基準を作成した。**ドローン運用事業者の操縦者の場合**、基本的な操縦技量、機体の知識、飛行前後の点検有無の評価を実施した。

ドローン運用事業者の操縦者に必要な力量を評価した項目（例）

技量	評価項目	評価基準		
基本的な操縦技量	離着陸	✓	3mの高さまでに離着陸の可否、安定性	
	ホバリング	✓	操縦者の目線の高さでのホバリングの可否、安定性	
	前後左右	✓	指定された離陸地点から前後左右に20m離れた場所へ着陸の可否、安定性	
	水平面での飛行	✓	一定の高さを維持したまま、指定された地点を順番に移動の可否、安定性	
	緊急時措置	✓	機体のトラブルが発生した場合に、迅速に緊急モードに切り替え、安全な場所へ着陸させることの可否	
機体の知識	ドローン本体	✓ ドローンを飛行させるために機体の組み立て、解体の可否	✓	機体の特性、システム構成、プロポ操作、通信と基地局PCとの関係性などの理解
	プロペラ（モータ）		✓	プロペラによる揚力、推進力の原理の理解、異常判断の可否
	バッテリー		✓	バッテリーの特性や危険性を理解し、安全な充電などの扱いの可否
飛行前後の点検	点検	✓	ドローン機体の飛行前後の点検や定期点検の実施可否および、修理の実施可否	
	故障時の対応	✓	機体が故障した場合、故障個所の原因調査の可否および、修理時の説明、交渉の可否	

ドローン運用事業者へ、操縦者の自己評価、および責任者の評価を依頼した。

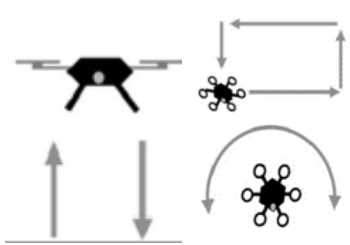
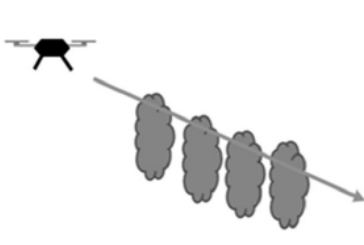
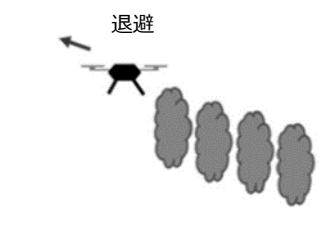
【基本的な操縦技量】 航空法申請要件ですが ドローン事業者の責任をもって再評価してください。

項目	スキルレベル			規準 評価点	操縦者 自己評価	ドローン事 業者 責任者
	1	2	3			
離着陸	3mの高さまでの離着陸ができる(不安定でも良い)	3mの高さまでの離着陸が安定してできる。	レベル2を5回連続してできる。	3		
ホバリング	操作者の目線の高さで、短時間(1分未満)ホバリングができる。 (又は、1分以上の飛行で半径1m以内にとどまれない)	操作者の目線の高さで、1分以上半径1mの範囲にとどまる事ができる。	レベル2の内容と同じことが、5分以上できる。	3		

(参考) 自社の操縦者技量の評価方法

自社の操縦者の場合の評価方法も準備した。参考資料として以下記載する。

飛行パターンと評価方法の図表を作成し、操縦者の操縦技能を実技で評価、技能レベルにより飛行可能エリアを制限することを決め、操縦者に必要な力量を評価する表を作成、事前にチェックできるようにした。

到達レベル	STEP1	STEP2	STEP3
飛行パターン			
ターゲット技能レベル	✓基本的な操縦ができる	✓10m程度の高さの対象物(パイプラック等)に対して高さを維持したまま、安定した飛行及び動画撮影ができる	✓GPS通信が途切れる等の異常で人や設備へ損傷を与えそうな時、即座にモードを切り替えて安全な場所へ退避できる
課題(評価基準)	- 離陸→上昇・ホバーリング→離陸 - 離陸→前後左右移動→着陸 - 離陸→ホバーリング→左右旋回	- 木々をパイプラックや設備に見立てて、上下左右の移動や旋回をする - 合わせて動画撮影を行う	無線機のスイッチを「GPS有」から「GPS無」モードへ切り替え着陸の直前まで操作する
飛行可能エリア	- 場内空地での飛行 - 屋根観察、防災訓練	パイプラック	- 高所タワー - 定修設備

実際の評価項目、基準設定については、次ページに示す。

(参考) 自社の操縦者技量の評価方法

自社の操縦者の場合、操縦技能のほか、機体や法令の知識、安全管理などドローン操作者に必要な力量（スキル）を評価表を使って確認した。以下は、ドローン運用事業者の操縦者の評価項目に、追加した自社の操縦者用の評価項目である。

ドローン操縦者に必要な力量を評価した項目（例）

技量	評価項目	評価基準
飛行 関係法令の理解	飛行計画の立案	✓ 目的に合わせた飛行計画の作成の可否、安全対策を含んだプランの提案の可否
	航空法	✓ 航空法「無人航空機の飛行に係る許可・承認書」を理解し、申請の実施、申請方法の指導の可否
	航空法	✓ 航空法「定期飛行実績報告」を理解し、報告の実施、報告方法の指導の可否
	電波法	✓ 電波法を理解し、具体的に申請を実施、申請方法の指導の可否
	消防法等関係法令	✓ 消防法、石炭法、高圧ガス保安法、各自治体の条例など関係する法、条例を理解し、監督官庁に相談、説明の実施および社内での指導の可否
安全管理	安全管理	✓ 飛行の安全体制を統括し、飛行責任者として役割の遂行可否

右記項目は、ドローン運用事業者の評価の場合とほぼ同様に評価する。

チェックリストを使った評価により、飛行により実施できる作業を確認できるようにした。

- 基本的な操縦技量

✓ 離着陸

✓ ホバリング

✓ 前後左右への移動

✓ 水平面での飛行

✓ 緊急時措置
- 飛行前・後の点検

✓ 点検

✓ 故障時の対応
- 機体の知識

✓ ドローン本体

✓ プロペラ（モータ）

✓ バッテリー

【基本的な操縦技量】

（「基準評価点」以上のスキルを、半年以上維持できている者が、「評価者」になれる）

項目	スキルレベル			実施できる作業	基準評価点	自己評価	評価者評価
	1	2	3				
離着陸	3mの高さまでの離着陸ができる（不安定でも良い）	3mの高さまでの離着陸が安定してできる。	レベル2を5回連続してできる。	基準評価点以上で、国土交通省へ「無人航空機を飛行させる者」として登録申請できる。	3		
ホバリング	操作者の目線の高さで、短時間（1分未満）ホバリングができる。（又は、1分以上の飛行で半径1m以内にとどまれない）	操作者の目線の高さで、1分以上半径1mの範囲にとどまることができる。	レベル2の内容と同じことが、5分以上できる。		3		
前後左右	指定された離陸地点から、前後左右に20m離れた場所に着陸できる。（不安定でも良い）	指定された離陸地点から、前後左右に20m離れた場所への着陸が、安定してできる。	レベル2を5回連続してできる。		3		
水平面での飛行	一定の高さを維持したまま、指定された地点を順番に移動する事ができる。（不安定でも良い）	一定の高さを維持したまま、指定された地点を順番に移動する事が安定してできる。	レベル2を5回連続してできる。		3		
緊急時措置	緊急モードで、慌てても何となく、熟練者のフォロー（交代）が必要。	緊急モードで、不安定な場所から取り除かず機体を離す事ができる。	機体のトラブルが発生した際に即座に対応でき、迅速に安全な場所に着陸（墜落）させる事ができる。		3		

リスクアセスメントと対策

稼働施設上空を飛行するための安全対策として、ドローンガイドラインを具体化・補足するためのリスクアセスメントを実施した。

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と対策。**赤字がドローンガイドラインを補足した部分。**

リスク	対策
(a) 作業員、通行車両、設備等の上空での飛行	- 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の徹底 - 飛行ルート上の作業員、交通量に応じた適切な監視体制下での実施 - 他の飛行物が無いことを確認後飛行する - 同一施設及び隣接設備も含め、同時飛行は行わない - 鳥獣がいないことを確認後飛行する - 操縦を担当する者の健康状態を確認する
(b) 悪天候、強風時での飛行	悪天候雨天時、瞬間風速5m/sを超えた場合は、飛行中止のアクションに入る
(e) フレアスタック等の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る飛行への影響	- ドローンで使用する電波を良好に受信できない場合には、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）又は電波を良好に受信できるまでの間は空中で位置を維持する機能が作動すること - GPS等の電波を良好に受信できない場合には、その機能が復帰するまで空中で保持する機能、安全な場所に自動着陸を可能とする機能又はGPS等以外により位置情報を取得できる機能が作動すること - 電池の電圧、容量又は温度等に異常が発生した場合に、発煙及び発火を防止する機能並びに離陸地点まで自動的に戻る機能若しくは安全な自動着陸を可能とする機能 - 自動航行の場合は、事前にGPS機能等に影響を受けない距離を確認し、影響のする距離未満の接近禁止となるように設定されていることを確認する

リスクアセスメントと対策（つづき）

爆発性雰囲気を生成する可能性があるエリア近傍や火気の制限があるエリアの近傍における追加のリスクと対策。赤字がドローンガイドラインを補足した部分。

リスク	対策
(a) ドローンの機能に不具合が生じ、ドローンが停止、落下すること	・ 風速等による明確な飛行中止条件の設定 ・ 飛行中止判断者の配置 ・ 保安道路等、非危険なエリアでの離着陸の実施 ・ チェックリストによる飛行前の機体点検
(b) 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、機体が流されること	・ 風況、飛行高度等に応じた危険なエリアとの離隔の想定 ・ 風速の監視・連絡体制の確保 ・ 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に基づく危険区域の明確化 ・ 危険区域に落下する可能性がある場合は、機体の重さは5kg未満の機体を使用する。 ・ 飛行時に風速を検知できるもの（吹き流し等）の使用及び、強風を感知したときに操縦者に連絡できる体制
(c) ドローンが安全な航行が困難になった場合に、暴走させないための対策	・ 飛行を継続するための高い信頼性のある設計及び飛行の継続が困難となった場合に機体が直ちに落下することのない安全機能を有する設計がなされている機体を用いること ・ より高い技術を有する操縦士による操縦の実施 ・ 安全に不時着させる位置を事前に決めておくこと ・ ドローン操作に必要スキルの追加、操作者のスキル評価による定量化 ・ 点検依頼可能なドローン業者の評価基準の明確化
(d) 落下等の衝撃によりバッテリーが破損し、着火すること	・ 事前のガス検知の実施 ・ 防火・消火体制の確保 ・ 衝撃等に強いバッテリーの選定 ・ 固定ガス検知器等の監視（航行現場との通信可能とする）も加え監視 ・ リチウムイオンバッテリーは変形がない、衝撃を受けてない、電解液の漏洩がない、水漏れがない、膨れがない等を飛行前に点検する。 ・ バッテリーの性能管理による定期的な交換。充放電回数及びバッテリーの消耗スピードを記録し、消耗スピード及び充放電回数、使用年数から、使用期限を決め、使用期限を超えて使わないこととする。

リスクアセスメントと対策（つづき）

爆発性雰囲気を生成する可能性があるエリア近傍や火気の制限があるエリアの近傍における追加のリスクと対策。赤字がドローンガイドラインを補足した部分。

リスク	対策
事故対処方法について、事前検討を行い、緊急連絡系統等を策定し、飛行計画書に記載する。	- プラントの部分停止または全体停止することを航行前に決め、周知しておく。 - 緊急連絡系統図を作成し、落下した際、連絡を速やかに行えるようにする。 - ドローン事業者による飛行の場合は、ドローン事業者に施設固有のリスクと対策を周知する。

ローカル環境における追加のリスク（ドローン飛行をするプラント施設固有のリスク）と対策。

リスク	対策
ドローンが墜落し設備を損傷させる	- 衝突可能性のある駆動用空気銅管に対し、落下時に衝突の可能性のある箇所を洗い出し、損傷すると内液が出る可能性のある、サイトグラスやレベルゲージのガラス部分は保護する。また制御に影響の大きい計装駆動空気銅管は保護する。 - これを操縦者へ教育し注意を促す。 - 飛行前にプラント運転者へ周知し、衝突・損傷があった際の対処方法を想定してもらっておく。また衝突に備えて、損傷計器がなんであるか速やかに連絡できるように、現場に運転員を1名配置する。
周辺もしくは近隣からガスが流入しガス検知器が発報する	- ガス検知器が発報した際は高度を上げ、北側の空地に移動、安全性を確認して、空地に着陸させる。最悪は電源を切り落下させる。プラントが隣接する側の監視人はガス検知器を携帯させる。または可搬式ガス検知器を路上に置いておく。 - 飛行前に周囲のガス検知器による異常なし確認を行うとともに、飛行時は固定式ガス検知器の検知なしを中央制御室で確認する。
飛行中にも関わらず、現場で作業して誤って爆発雰囲気を発生させてしまう	飛行時は作業を実施しないように調整する。作業をする場合は、飛行の合間時間(12:00～13:00)を利用して行う。

リスクアセスメントと対策（つづき）

ローカル環境における追加のリスク（ドローン飛行をするプラント施設固有のリスク）と対策。

リスク	対策
連続または間欠的に、空気またはガスを上空に放出する設備により、気流が乱れたり、可燃性雰囲気が出てしまう	ルーフファンやモータファンなどの設備から、上空に向かって排気がないことを確認。操縦者にも周知する。 隣接エリアで水素とレーダー切替時の配管残存水素の放出があるが、少量であり、飛行計画箇所から20m以上離れるので影響なし。
操縦者が航空法の申請がされていない 90日以内に1時間事項飛行を実施していない	ドローン事業者が航空法の飛行許可/承認書を受領していることを確認する(申請書の写しが貰えるか確認する) 直近の飛行実績を確認する。

事前協議等の実施

- 飛行計画について、以下の事前説明・協議等を実施した。
- 千葉工場内の所内関係部署への事前確認
 - コンビナート内近隣企業への飛行情報の共有
 - 市原市消防局への飛行計画の説明
 - 千葉県危機管理部産業保安課への飛行計画の説明



コンビナートでの自主相互監視

- 近隣企業と飛行情報を共有し、隣接企業からのガス流入防止
- 不審ドローンの侵入防止

⇒セキュリティ・保安の向上

- 航空法に基づく、情報開示（DIPS、FISS）
- 隣接企業への飛行情報提供（必要事項をメールで前日までに送信）
 - いつ・どんな機体を飛行させるか
 - 爆発性ガスの放出計画の有無
 - 飛行目的や撮影方法は各社の秘匿情報

*DIPS：ドローン情報基盤システム/FISS：飛行情報共有システム

点検等の実施

ドローンチェックシート・飛行記録表のひな型を作成し、点検・チェックを実施した。

①ドローン倉庫の作業とチェック

1. プロペラのネジを締め付ける（保管中は、同ネジを緩めた状態にしている為）
2. プロペラガードが正しく設置されているか、目視で確認する。
3. ブラシレスモーターの異常（引っ掛かり）が無いを確認する。
4. カメラを固定し、配線を繋ぐ。
5. バッテリーに異常（変形、衝撃、電解液の漏えい、水漏れ、膨れ）が無いを確認する。

②飛行直前のチェック

1. プロペラに接触しそうなゴミの付着が無いか、確認する。
2. バッテリーを設置し、配線を繋ぐ。
3. 「機体」と「P C」が問題無く通信できる状態か確認する。
4. コントローラーが問題無く使用できる(含 PC・機体との通信)か確認する。

③飛行中のチェック

飛行時間、バッテリー（BT）残量、風速（平均・瞬間）を記録

バッテリー 1 セット目	P C 担当 :	時刻	直前	離陸直後	飛行中				着陸（停止）
	操縦者 :		:	:	:	:	:	:	:
	BT No :		%	%	%	%	%	%	%
	風速 (警防係に無線で確認)		平均	瞬間	平均	瞬間	平均	瞬間	平均
			m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
			m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s

④飛行後のチェック

7. 機体のバッテリーとコントローラーをOFFにし、機体の異常（外観、モーター）が無いを確認する。
8. 機材の不足（現場への忘れ物など）が無いを確認し、機器を倉庫に保管する。
9. プロペラ固定用のネジを若干緩める（ネジのテンションを緩和する措置）
10. 必要な充電を行う。（充電終了させることを、忘れない様に）

飛行記録の作成と提出

■ 飛行記録

本実験に対し作成した飛行記録を下表に示す。

飛行させる者の氏名	飛行概要	飛行させた無人航空機	離陸場所	離陸時刻	着陸場所	着陸時刻	飛行時間	飛行の安全に影響のあった事項
A	施設全体の巡回撮影	Mini - GT3	3F 架台	14:02	3F 架台	14:10	0:08	特になし
A	装置に近づいて撮影	Mini - GT3	3F 架台	14:20	3F 架台	14:27	0:07	
A	高所設備の撮影	Mini - GT3	3F 架台	14:30	3F 架台	14:39	0:09	
A	外周からの撮影	Mini - GT3	プラント横道路	14:50	プラント横道路	15:03	0:13	

実験当日の、天候は晴。実験中の瞬間風速は最低1.0m/s、最大4.7m/sであった。

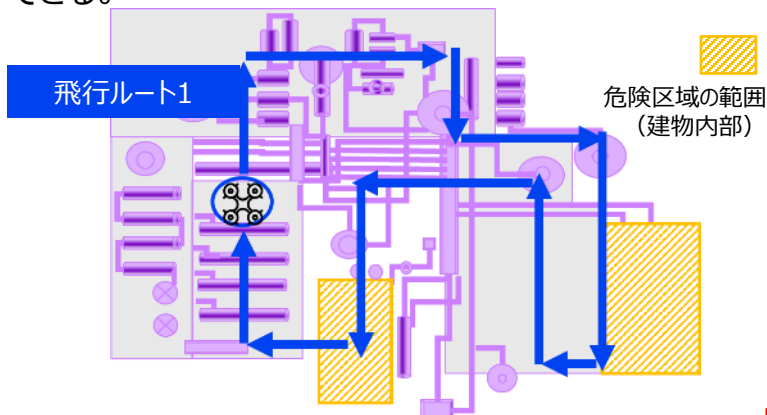
■ 実証実験により得た知見

- **天候/撮影時間帯**：太陽の光が強く、設備が日陰に入っており、明瞭な画像の撮影が、困難な箇所があった。撮影時の時間帯・天候により、撮影する画像に影響が出る。
- **動画/写真**：静止画のインターバル撮影の方が、解像度が高く、後から確認が必要なポイントを選択、抽出することが容易であるため、静止画のインターバル撮影を行った。
- **飛行ルート**：プラント内の避雷針の考慮が難しい。自動航行では、避雷針の上空を飛行、距離をとって撮影する、あるいは、近接して撮影する際に高度を下げる必要があった。
- **カメラの性能**：近接して撮影できない場合を考慮すると、全体巡回の撮影には、解像度の高いカメラを使用するべきだった。目的に合わせてカメラの種類をテストが必要。デジタルズームと高解像度カメラ、ドローンの大きさ（重量）の選択と合わせて検証が必要。（➡参照：後掲「（参考）カメラ比較」）

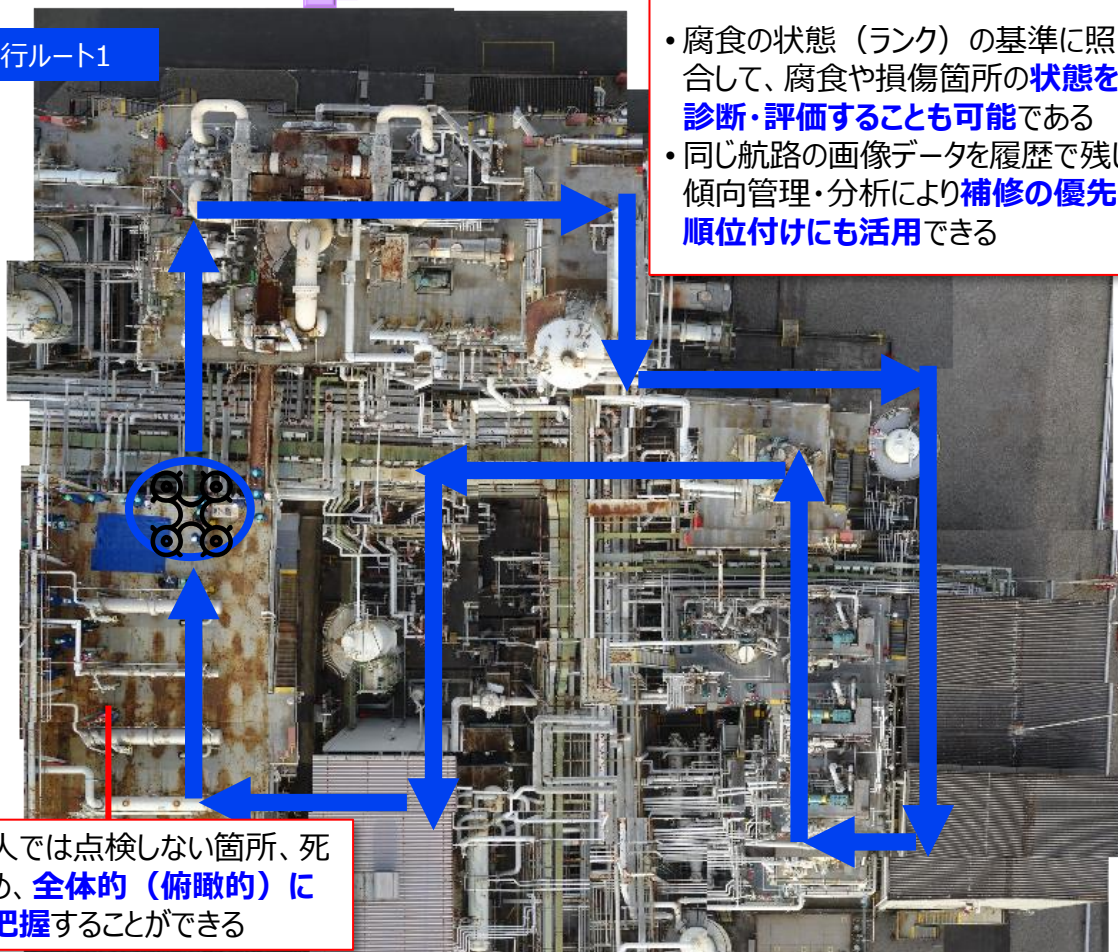
実験結果とドローン活用の有効性

飛行ルート1：ポリブタジエン樹脂製造施設（稼働中）全体の上空を巡回撮影した。

従来の人では点検しない箇所を含め全体的（俯瞰的）に状況を把握できることにより、複数人（回）での確認・評価、見逃しの防止によりプラント保安の精度向上に期待できる。



飛行ルート1



- 腐食の状態（ランク）の基準に照合して、腐食や損傷箇所の**状態を診断・評価することも可能**である
- 同じ航路の画像データを履歴に残し、傾向管理・分析により**補修の優先順位付けにも活用**できる

- 従来の人では点検しない箇所、死角も含め、**全体的（俯瞰的）に状況を把握**することができる

飛行ルート1 稼働中プラント上空から撮影
(全体巡回インターバル撮影した画像を組合せ)

実験結果とドローン活用の有効性（つづき）

飛行ルート2：ポリブタジエン樹脂製造施設（稼働中）全体の上空を巡回しながら、飛行高度を下げ、設備に接近、撮影した。

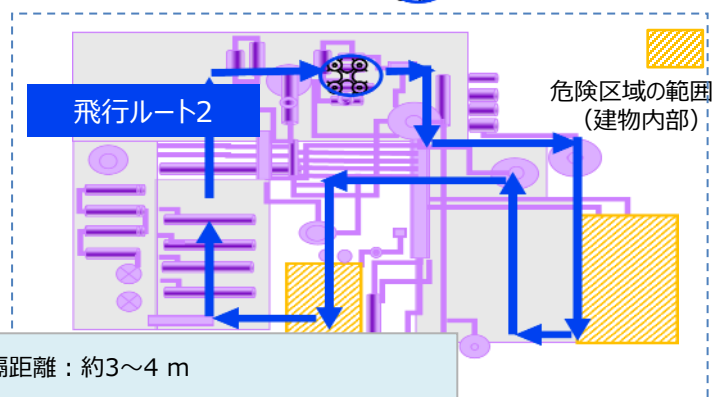
飛行ルート4：従来の危険区域の外側（設備から離れた場所）を飛行、プラントの内側を撮影した。

上記の飛行ルートにより、危険区域の見直し前と後を比較、検証した。危険区域の見直しにより至近距離から撮影できることにより、従来は死角になっていた箇所を含めプラント内の点検できる範囲を広げられ、プラント保安の向上にも有効であると考える。

飛行ルート4



従来の危険区域の外側



・人がプラントの内部に入らないと確認できない箇所を確認可能。網羅的に確認ができることが重要→点検できる範囲を拡張することに有効

・外周からは見えない部分を正常であることを確認可能

離隔距離：約3～4 m

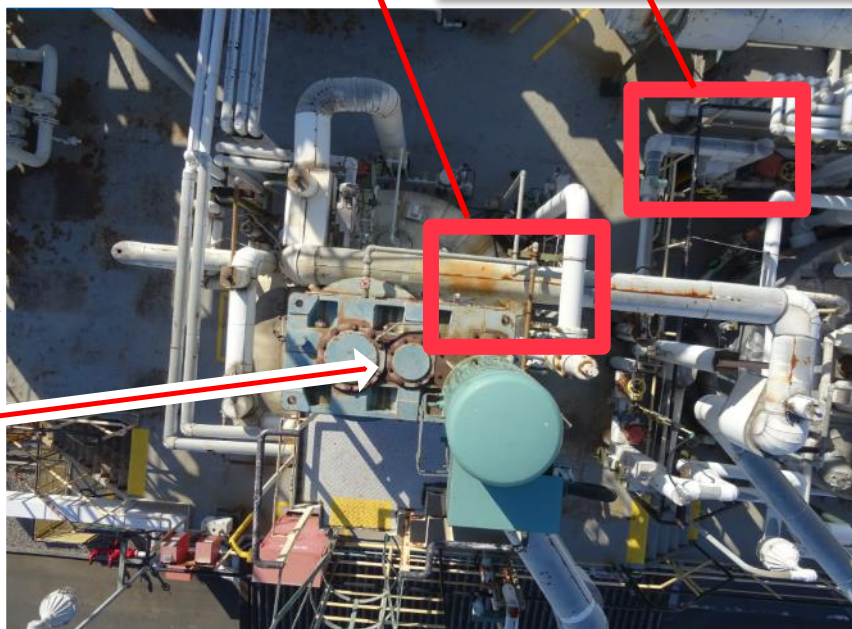
【使用したカメラ性能】
2000万画素×30倍ズーム（デジタルズーム）
集点距離：4.3mm
センササイズ：5.97mm×4.5mm
記録画素数：5184×3888pixel



30倍ズーム



飛行ルート4



飛行ルート2

見直し後非危険区域(上空)から撮影

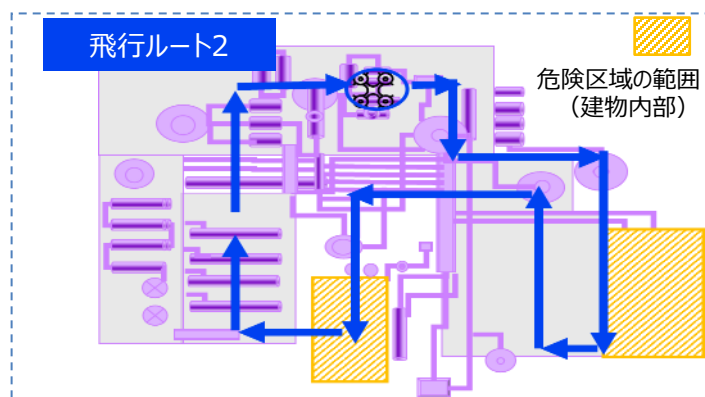
従来の危険区域の外側
(対象から離れた場所)から撮影

- ・腐食の程度(ランク)の基準に照合し、診断・評価も可能
- ・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

実験結果とドローン活用の有効性（つづき）

飛行ルート2：ポリブタジエン樹脂製造施設（稼働中）全体の上空を巡回しながら、飛行高度を下げ、設備に接近、撮影するときの高度のイメージを参考に記載する。

設備からの離隔距離3～4mの至近上空にドローンを飛行させ撮影した。



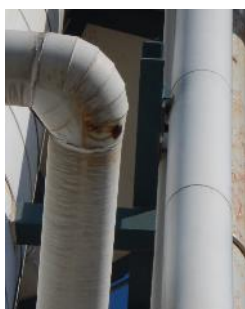
実験結果とドローン活用の有効性（つづき）

飛行ルート3：高所設備（蒸留塔）を至近距離から撮影した。

従来は危険区域内であることから、高所の腐食・損傷状況を確認するためには、足場を設置する必要があった。ドローンを至近距離に飛行させることにより、点検作業が困難だった箇所まで確認できるようになり、点検範囲をさらに拡張することに有効である。また、災害発生後など、足場の架設費用の削減、作業者の安全性の向上、および、プラント稼働の停止時間の短縮にも有効であると考える。



- 災害などの後、足場を架設せずに、短期間に、状況を把握することができる（**停止時間の短縮**にも有効）
- 足場架設費用の削減や、作業者の安全性の向上に有効である
- 異常・損傷だけでなく、正常な状態であることを把握するためにも有効である



従来の点検（撮影）

従来の点検の角度からでは死角になって確認できなかった

- **死角になって確認できなかった箇所を点検可能。**
→ **点検できる範囲を拡張**することに有効
- 腐食の程度(ランク)の基準に照合し、診断・評価も可能



離隔距離：約13 m

配管接触部

【使用したカメラ性能】
2000万画素×30倍ズーム
（デジタルズーム）
集点距離：4.3mm
センササイズ：5.97mm×4.5mm
記録画素数：5184×3888pixel



飛行ルート3

見直し後の非危険区域（至近距離）から撮影

従来の危険区域で飛行するための安全対策の有効性

(凡例)
○：有効、改善点なし
△：改善点あり
+：不足、追加必要
-：不要であった

従来は危険区域内であり、稼働中施設の上空を飛行させるために、ドローンガイドラインを具体化・補足するための安全対策を行った。実験を通して、改善点や検討事項を整理し、次の飛行計画へ活用していく。

安全対策	概要	評価/課題/検討事項
飛行環境の説明	ドローン運用事業者に飛行範囲に存在するプラント固有のリスク（ローカルの情報）について説明（チェックリストを作成）	○ プラント固有のリスク（ローカルの情報）をドローン運用事業者に説明し、その記録を示すことは、消防・近隣を安心させることに有効であった ○ 飛行中止基準：具体的な風速について、ガイドラインに記載がないので、具体例として提示することは有効である
ドローン飛行技能検定	ドローン操縦者の操縦技能を実技にて評価し、技能レベルにより飛行可能エリアを制限する	△ ドローン操縦者を自社社員が行う前提の資料が多く、ドローン運用事業者の操縦者の場合に適用できない箇所があったため別評価方法が必要であった ドローン運用事業者の操縦者の場合の力量チェックは飛行時間の実績と基本的な確認で判断する方が現実的であった（*1） △ ドローン運用事業者の操縦者の場合、選定時、あるいは安全教育の前に、確認する必要がある項目あり、それらの証明資料の提出などを依頼することが良いと分かった。別チェックリストが必要であった（法定期届出など）（*2）
ドローン操縦者に必要な力量評価	操縦技能のほか、機体や法令の知識、安全管理に関する技能を評価する	*1 *2：サンプルを次ページに示す
飛行計画書・ドローンチェックシート	ドローンの飛行前、飛行後で点検すべき事項をリスト化したチェックシートおよび、飛行記録表のひな型を作成	△ ドローン飛行前の機体点検チェックは機体によって点検項目が異なるため、ドローン業者による飛行の場合、ドローン業者の機体チェックリストを入手し、チェックが必要 △ ドローン運用事業者に対し、ドローン機体の点検状況の確認が必要（飛行時間によるバッテリー交換頻度など）
リスクアセスメント	ガイドラインに書かれたリスクと対策を具体化および追加し、リスクアセスメント表を作成	△ リスクアセスメントは、汎用的なリスクだけではないため、実際の現場に即した項目を追加する方が有効である + 今回は避雷針がプラントに多く、リスクアセスメントを実施する必要があった
事前連絡 事前協議	隣接企業への飛行情報提供により、近隣からのガス流入防止や不審ドローンの侵入を防止する	○ 事前に消防、近隣企業へ飛行情報を具体的に共有することは、有効であった

従来の危険区域で飛行するための安全対策の有効性（つづき）

今回の実証実験を通して、ドローン操縦者に必要な力量評価において、改善、修正した点を示す。

ドローン運用事業者の操縦者に必要な力量を評価

ドローン運用事業者の操縦者の場合には、力量チェックは飛行時間の実績と基本的な確認で判断する方法が現実的であると分かったためチェックリストを修正した。

	GPS飛行のみ	手動飛行も実施
直近3が月の飛行時間数	1時間以上	10時間以上
総飛行時間数	10時間以上	100時間以上

飛行時間については、今回飛行実験したドローン運用事業者とヒアリングしながら設定した目安である。今後の運用により見直す想定である。

操縦者に必要な力量評価表

評価年月日: 年 月 日

氏名: (経験年数 年)

事業者
責任者

承認
担当

以下時間は、訓練飛行も含む

直近3カ月の飛行時間数

時間

総飛行時間数

時間

※稼働Plant上空の場合以下条件を満たすこと、それ以外はGPS飛行のみの条件

GPS飛行のみ

1時間以上

及び10時間以上

GPSなし(装置への近接)

10時間以上

または100時間以上

従来の危険区域で飛行するための安全対策の有効性（つづき）

今回の実証実験を通して、ドローン操縦者に必要な力量評価において、ドローン運用事業者の操縦者の場合、事前に航空法に関する許可申請や無線局の免状など確認が必要になる項目があるため、事業者の選定時、あるいは安全教育実施の前などに証明資料の提出を依頼するなどして、確認できるよう、別チェックリストを作成した。

ドローン運用事業者への事前確認事項

項目	確認資料	確認後 ☑する
航空法に対する確認	無人航空機の飛行に関する許可承認申請書 及び 無人航空機の飛行に係る許可承認書	☐
電波法 ※対象機の場合	無線局免状 及び JUTM日本無人機運航管理コンソーシアムへの加入確認	☐
操縦スキル確認	事前に「操縦者のスキル評価表」を渡し記入してもらう	☐
機体管理	機体定期点検記録 バッテリー管理（放充電回数）記録 モーター管理（使用時間） 上記に関する管理方法を聞き、可能であれば記録をもらう ※定期的に行っていなければ上記項目を点検してもらい、 結果を提出してもらう。	☐
飛行前後の機体管理	飛行前点検記録 飛行前にネジのゆるみ無し、バッテリーの損傷・液漏れ なし、通信状態確認異常なし 等を確認するチェック シートを持っているか確認。 飛行後点検記録 飛行後に異常が発生した様子がないかを確認する チェックシートを持っているか確認。 ※前後の点検記録がなければ、ガイドライン補足事項 資料6 参考に作成してもらう	☐

(参考) カメラ比較

点検のためには、高画質のカメラが必要であるが、搭載できるドローンのサイズ（大きさ・重量）にも影響するため目的・用途に合わせ考察、検証をすることが必要である。

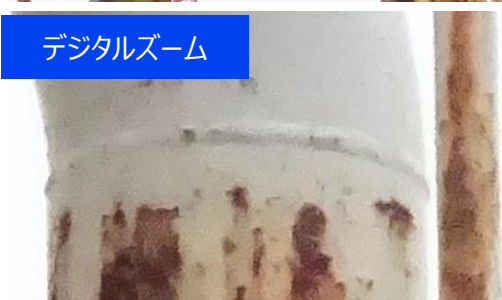
- プラント内の避雷針のため、自動航行では、避雷針の上空を飛行、距離をとって撮影する、あるいは、近接して撮影する際に高度を下げる必要があった。
- 近接して撮影できない場合を考慮すると、全体巡回の撮影には、解像度の高いカメラを使用するべきだった。目的に合わせてカメラの種類をテストすること、デジタルズームと高解像度カメラ、ドローンのサイズ（大きさ・重量）の選択と合わせて検証すること、が必要であると分かった。
- 画像解析などで活用する場合には、センササイズを大きいカメラを使用する方が望ましい。今後は、望遠ズームとセンササイズの関係も確認予定である。

Sony DSC QX30U
(今回の撮影で使用)



撮影距離：2m

デジタルズーム



- 2000万画素×30倍ズーム
- 集点距離：4.3mm
- センササイズ：5.97mm×4.5mm*
- 記録画素数：5184×3888pixel

*多くのドローンはこのセンササイズ

Sony UMC-R10C



撮影距離：2m

デジタルズーム



- 2000万画素レンズ交換式
- 集点距離：16mm
- センササイズ：23.2mm×15.4mm
- 記録画素数：5456×3632pixel

2. 実証実験の事例

③屋外での実証事業（2020年度）

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」の中で、三井化学株式会社市原工場においてドローン活用実証実験を実施した。本実験に関する内容や実験に際してのリスクアセスメント・リスク対策、実験結果について示す。

なお、本章はVer3.0作成にあたり新規に追加した。

実証実験の実施概要

実証実験の位置づけ

2019年にまとめた「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」（防爆ガイドライン）に基づき、非危険区域として再評価したエリア内において至近距離でのドローン飛行も可能になったが、ドローン操作時の影響など、特有のリスクや課題が存在している。そこで、「令和2年度新エネルギー等の保安規制高度化事業」において、プラント内で従来は危険区域として、ドローンが入ることができなかった範囲を含めた定期点検や日常点検を実現するための検証のため、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や課題の有無を確認するため、実証実験を実施した。

概要

防爆ガイドラインに従って、危険区域の精緻な設定の再評価を実施し、非危険区域として評価されたエリア（非危険区域に見直しを検討中のエリア）内にドローン飛行させ、点検対象であるコーンルーフタンク（開放中）の至近距離から外面を撮影、従来の点検方法との比較をする実証実験を実施した。

日程及び場所

日程：2021年2月8日（月）

場所：三井化学株式会社 市原工場

使用したドローン

実験に使用したドローンの機能・性能は以下である。

項目	機能・性能
機体型式	ACSL Mini-GT3
最高速度	10m/sec(水平)、2m/sec(垂直)
最高高度	150m
機体重量	3.15kg
電波到達距離	500m以内
最大風圧抵抗	10m/s
最大飛行時間	33分（カメラ・ジンバル搭載時）
飛行方式	自律（VSLAM／GPS）、マニュアル（飛行中に切り替え可能）
誘導精度	・ VSLAM > GPS（※ただし、VSLAMの使用は、通常高度20m以下に制限される） ・ GPSの場合、通常数mの誤差
安全対策	・操作信号が途絶えた場合、指定地点へ帰投
搭載カメラ	Sony QX30U、他市販カメラを搭載可能

ドローンの飛行目的・撮影対象等の選定

【飛行目的】 従来は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し、定期点検や日常点検を実現するための検証する。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、課題の有無の検証する。

【撮影対象】 コーンルーフタンク

ドローン運用事業者とドローンの選定

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。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。ドローン機体は、GPSによる飛行ルートの設定、通信遮断時等の自動帰還、障害物自動回避、GPS・センサーによる自律飛行などの機能・性能を持つ、信頼性の高い機体を選定した。

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ー部の腐食点検

【撮影方法】 静止画撮影／動画撮影

【撮影対象】 コーンルーフタンク

【飛行区域の状態】 危険区域の精緻な設定のため非危険区域と評価されたエリア内
*区域の設定実施は検討中のため、開放中（非危険区域）

【飛行ルート】 タンクの側面を飛行（1側面ずつ2ルート）

【飛行日時】 2021年2月8日 13:30～15:30

【実施体制】 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

※プラントでドローンを安全に飛行させる方法を検討することを目的とした実験であるため、これに対応した監視人数で体制を整備

危険区域の見直し

「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」（防爆ガイドライン）に従って、タンク設備の評価を実施した。

対象のプラントにおいて、防爆ガイドラインに基づき評価した結果、タンク外周は非危険エリアになると評価された。

実験当日は危険区域の見直しが完了していないため、危険区域が見直された場合を仮定して実証実験を行った。

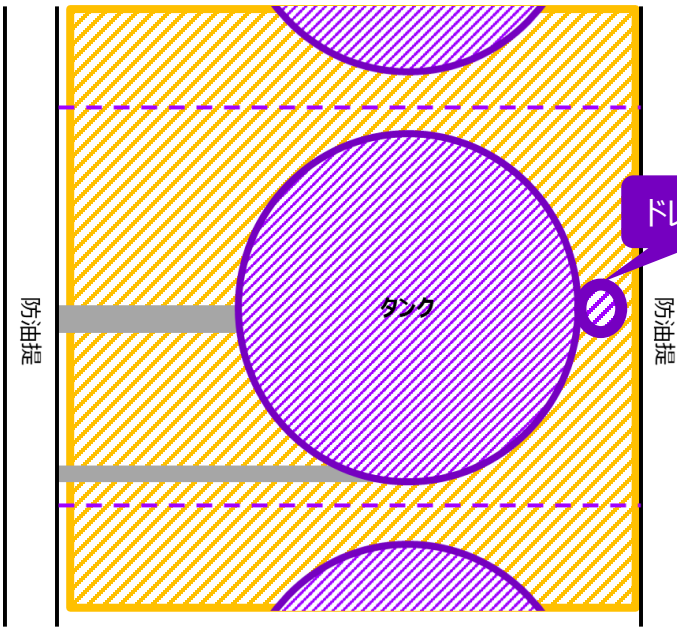


危険区域の範囲



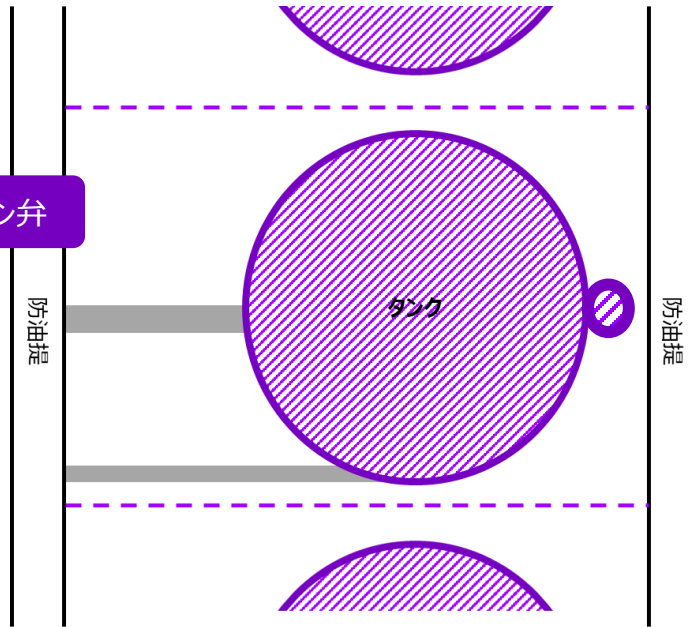
第1類危険区域の範囲

従来の危険区域の範囲



社内設備技術規格「防爆規格」に従って、タンク上部及びドレン弁周囲は、第1類危険箇所。防油堤内エリア一体を第2類危険箇所に設定

将来見直したことを仮定した場合の危険区域の範囲（評価結果）



防爆ガイドラインに従って、評価した結果、タンク上部及びドレン弁周囲のみ第1類危険箇所、タンク外周は非危険区域になると評価された
(ただし、実際の危険区域の見直し予定については、現時点では決まっていない)

リスクアセスメントと対策

今回の飛行エリアがタンク至近となるため、リスクアセスメントと対策として、以下を実施した。**赤字が至近距離を飛行するためにドローンガイドラインを補足した部分。**

リスク	対策
(a) 作業員、通行車両、設備等の上空での飛行	・ 操縦者と事前に面談し、操縦経験・ドローンが有する安全機能のヒアリングを実施 ・ タンク周辺、なおかつドローン落下推定範囲に存在する配管・計器・機器を足場材で養生 ・ 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の徹底 ・ 操縦を担当する者の健康状態を確認する ・ 飛行前、飛行中にタンク周辺の可燃性ガスの有無をガス検知機でチェック ・ 飛行ルート上の作業員、交通量に応じた適切な監視体制下での実施
(b) 悪天候、強風時での飛行	・ 悪天候雨天時、一定の風速(5m/s)を超えた場合の作業中止
(e) フレアスタック等の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る飛行への影響	・ ドローンで使用する電波を良好に受信できない場合には、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）又は電波を良好に受信できるまでの間は空中で位置を維持する機能が作動すること ・ GPS等の電波を良好に受信できない場合には、その機能が復帰するまで空中で保持する機能、安全な場所に自動着陸を可能とする機能又はGPS等以外により位置情報を取得できる機能が作動すること ・ 電池の電圧、容量又は温度等に異常が発生した場合に、発煙及び発火を防止する機能並びに離陸地点まで自動的に戻る機能若しくは安全な自動着陸を可能とする機能

リスクアセスメントと対策（つづき）

作業員の安全対策

- ヘルメット・防護メガネ・防塵マスクの点検を始業前に必ず行う。
 - ✓ ヘルメットのあご紐をしっかり固定し、外した状態で作業しない。
- 操縦者は自律飛行中のドローン直下に立入らない。
 - ✓ 作業エリアに立ち入らない
- プラント内での作業に関わる安全教育を実施し、化学プラント特有の作業リスクを理解した。

<内容>

- 作業プラント内の流体・注意箇所
- 着装すべき保護具、緊急時の連絡系統
- 着工許可の運用について 等

緊急時の制御機能

- ドローン操作用の電波が途絶したり、バッテリーが低下すると、自動的に緊急時操作画面が立ち上がる
- 緊急操作が行われない場合は自動的に離陸地点に着陸



ドローン落下リスクの対策（つづき）

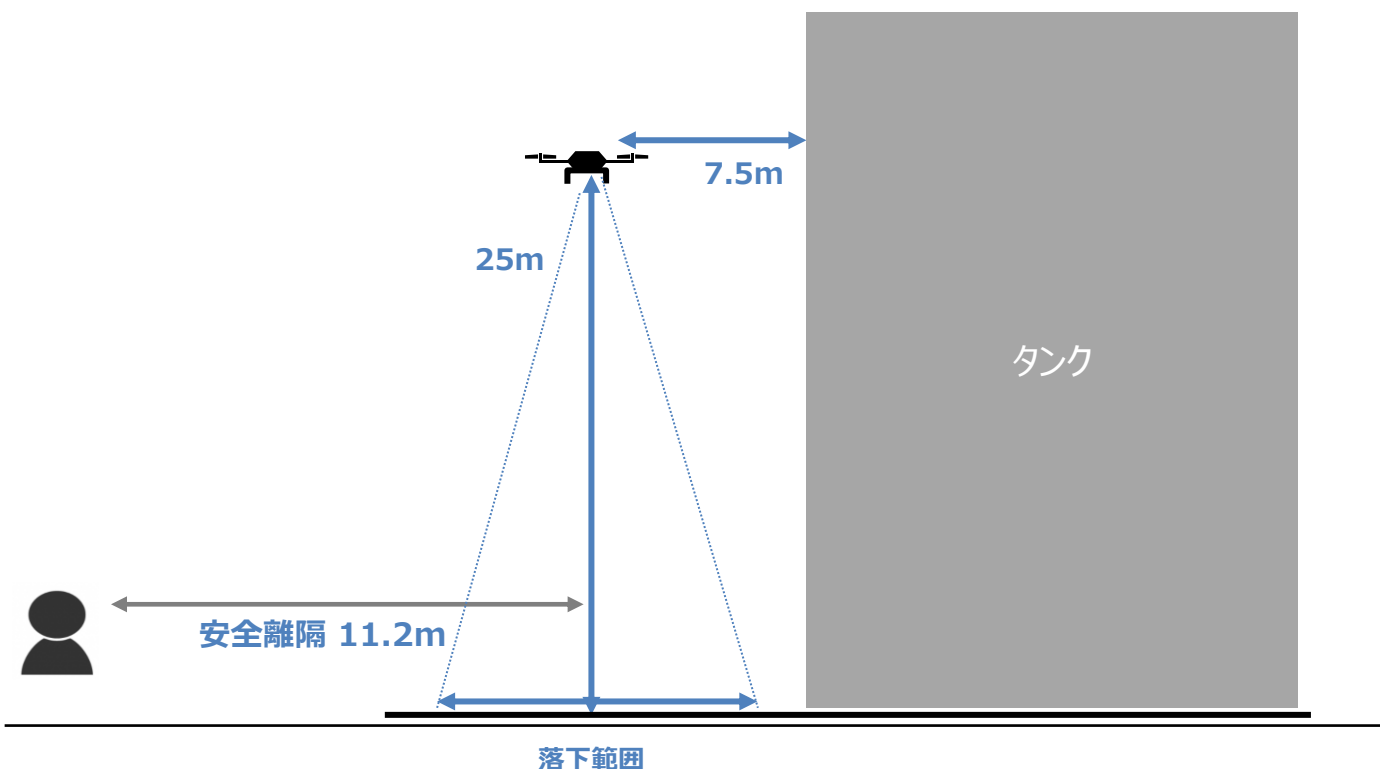
中止判断基準の設定

- 雨：降雨時は飛行中断して待機
- 風：地上風速5m/s以上で飛行を中断して待機（上空の風速も考慮）

安全離隔の設定

- ドローンの落下範囲(GPS誤差含む) + 5m以上を安全離隔として設定
- 高度25mから落下し、設備に接触することを回避するため、タンクと7.5m以上の離隔を設定し飛行

飛行時の安全区画



ドローン落下リスクの対策（つづき）

事前協議の実施

飛行計画について、以下の事前説明、協議等を実施した

- 市原工場内の関係部署への事前確認
- コンビナート内近隣企業への飛行情報の共有
- 市原市消防局への飛行計画の説明

飛行記録の作成と提出

■ 飛行記録

本実験に対し作成した飛行記録を下表に示す。

飛行させる者の氏名	飛行概要	飛行させた無人航空機	離陸場所	離陸時刻	着陸場所	着陸時刻	飛行時間	バッテリー電圧 (飛行前)
A	ナフサタンク西 (海側)	Mini - GT3	防油堤内	13:15	3F 架台	14:00	0:15	4.2V
A	ナフサタンク西 (海側)	Mini - GT3	防油堤内	14:02	3F 架台	14:13	0:11	3.9V
A	ナフサタンク東 (山側)	Mini - GT3	防油堤内	14:20	3F 架台	14:27	0:07	4.2V
A	ナフサタンク東 (山側)	Mini - GT3	防油堤内	14:31	プラント 横道路	14:41	0:10	4.1V

実験当日の、天候は晴。実験中の風速瞬間最大値は2.1m/sであった。

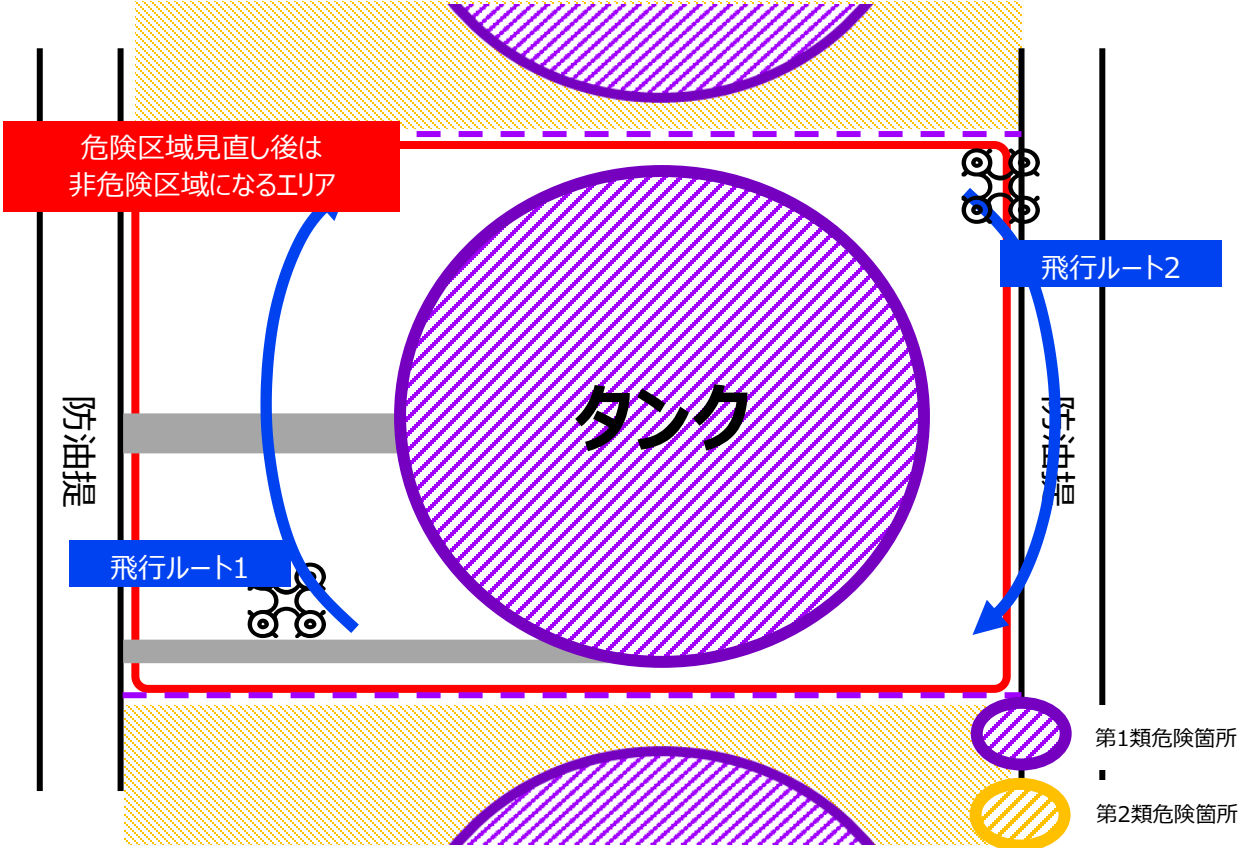
■ 実証実験により得た知見

- **撮影画像**：画像から腐食度合いを拡大して確認するためにも、カメラ性能（解像度）を上げた撮影の検証が必要であった。

実験結果とドローン活用の有効性

従来の危険区域(仮*)の内側で、タンク至近距離からコーンルーフタンク（開放中）の外面を撮影し、従来、人により足場やゴンドラを使って近づかないと確認できない箇所まで確認可能であった。

*危険区域の見直し後は非危険区域になるエリアと仮定して検証



想定している点検	実施周期	評価	課題/検討事項
ドローンによる運転中点検 (将来危険区域が見直された場合)	1回/年 (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。(日常パトロールでは見ることのできない部分の点検可能)	嗅覚、触覚、聴覚による異常有無の情報が得られない。
ドローンによる保安検査前予備点検(停止、開放中)	1回/7年or8年 (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。	「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。
(参考)			
「現状」 運転員による日常パトロール	毎日	地上から、あるいは階段から見える範囲での目視点検のみしかできない。	点検可能な範囲が限られ、かつ距離も遠いため、詳細な状況がわからない。

実験結果とドローン活用の有効性(つづき)

画像をズームすると、従来の点検画像と同様に扱うことができ、定期点検としてドローンを飛行させ、塗装の浮き上がり・錆範囲を確認することで、異常有無・点検要否の判断材料になり得る。

飛行ルート2

第1種危険箇所

第2種危険箇所

離隔距離：7.5m

【使用したカメラ性能】
 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：5184×3888pixce

30倍ズーム

- 人により足場やゴンドラを使って近づかないと確認できない箇所を確認可能
- ドローンによる運転中点検により、**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

ウィンドガーダーの寸法から推定した結果、おおよそ、**実際の検査結果に近い損傷部の大きさが推定可能**

- 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**

60x W 15x d 1.1

W

L

W 15mm
(画像からの推定)

L 58mm
(画像からの推定)

90mm
(ウィンドガーダー寸法)

従来の点検記録（ゴンドラ使用）

タンク外周から撮影

3. 国内企業の事例

※2024年3月時点

国内の石油精製、化学工業（石油化学を含む）等のプラント事業所を対象に、ドローン活用事例について調査を実施した。ここでは、ドローンの活用時における点検対象、想定したリスクアセスメント・リスク対策、メリット及び課題等を示した活用事例を示す。

事業所 基礎情報

事業種類	化学工業（石油化学を含む）	総面積	約34.5万m ²
------	---------------	-----	----------------------

ドローン活用実績

点検対象の状態	通常運転時
点検目的・点検箇所	屋外広告物条例に伴う年次看板点検（6FL建：約30m）
ドローン運用事業者	点検会社
想定した リスク事象	・ ドローンが風に流されて社外や管理エリア外へ侵入・落下すること ・ 無線計装の電波とドローンの操作用電波が干渉 ・ 落下したドローンによる火災発生・設備損傷
実施した リスク対策	・ GPS運転（信号数：7つ以上）、風速管理（起点風速：5m/s以下） ・ 人員配置（操縦士、画面確認補助、ドローン飛行確認等） ・ ドローン落下対策 ① 飛行エリア下部にある危険部倉庫の保護用ネット設置 ② 飛行領域周辺30m以内の立入り禁止措置
ドローン活用 のメリット	・ 点検に活用することにより労働安全性の向上（高所作業回避）
ドローン活用 の課題点	・ 通信干渉 ・ バッテリーの安全性 ・ バッテリー（飛行）時間 ・ 鳥からの攻撃回避



(2019年3月 時点)

大阪国際石油精製株式会社

事業所 基礎情報

事業種類	石油精製	総面積	130万㎡
------	------	-----	-------

ドローン活用実績

点検対象の状態	通常運転時／災害時
点検目的・点検箇所	タンク
ドローン運用事業者	自社
想定した リスク事象	・防爆エリアへのドローンの落下／・設備へのドローンの落下／・ドローンの耐風性能
実施した リスク対策	・周囲の危険物施設との距離を適切に保つ／・十分な監視体制（監視人数等）の構築／・損害保険への加入／・適切な操縦者（資格の保有等）の配置 ・障害物回避機能・リターンtoホーム機能・バッテリー不足による帰還機能のある機種を選定、落下することでの火災・爆発のリスク・影響度を評価、強風時(10m/s)におけるドローンの落下範囲の予測を実施。
ドローン活用 のメリット	・高所点検の外注コストが削減され、当所では100万円/年程度のコストメリットが期待されている。 ・地震・台風後の災害状況の把握にとっても役立った。
ドローン活用 の課題点	・ドローンには等倍レンズしか取り付けられておらず、またドローンは防爆範囲には近付けないのでズームアップ機能付きカメラが必要となり、その追加購入費が100万円/台を超える点。



写真-1 ドローンによる撮影写真（上空約100m）



写真-2 ドローン本体（操縦訓練風景）

（2019年3月 時点）

株式会社ENEOSマテリアル（鹿島工場）

事業所 基礎情報

事業種類	石油化学	総面積	約34.5万m ²
------	------	-----	----------------------

ドローン活用実績

点検対象の状態	通常運転時（点検作業）
点検目的・点検箇所	外観腐食点検 ・ 高所配管
ドローン運用事業者	自社
想定した リスク事象	・ 機体が操作不能になり、場外に飛んでいくこと。 ・ 機体が配管に近づき過ぎて接触・落下し、バッテリーが発火すること。 ・ 飛行中の機体の下に人が居て、落下時に被災すること。
実施した リスク対策	・ 通信状態の常時確認。 ・ 近接センサーの使用。防災砂を準備してバッテリーの発火に備える。 ・ 飛行経路に監視人を配置。通行制限。
ドローン活用 のメリット	・ 日常点検に活用することにより、足場コストを削減していく。 ・ 高所作業を削減することにより、転落リスクを削減していく。
ドローン活用 の課題点	・ 飛行エリア制約により、撮影できない場所が多い。 ・ 長時間の飛行できず、点検作業効率が高くない。



(2019年3月 時点)

株式会社ENEOSマテリアル（鹿島工場）

事業所 基礎情報

事業種類

石油化学

総面積

約34.5万m²

ドローン活用実績

点検対象の状態

通常運転時（点検作業）

点検目的・点検箇所

運転監視／外観点検 ・ フレアスタックのバーナー部

ドローン運用事業者

自社

想定した
リスク事象

- ・ ドローンの目視外運転中に機体の操作を誤り、墜落すること。
- ・ バーナーに近づき過ぎて、輻射熱による運転異常／機体損傷を受けること。

実施した
リスク対策

- ・ 監視者による機体挙動の確認及び操作者へ逐次連絡。
- ・ 飛行前後の機体確認。監視者による機体挙動の確認。
- ・ プラント運転状況の事前確認。（非定常作業がないことの確認）

ドローン活用
のメリット

- ・ 足場を組む前に状態確認ができる為、事前の部品発注が可能。
- ・ 運転中には接近できない箇所の点検が可能。

ドローン活用
の課題点

- ・ 検査機が容易に載せ替えできない。（ズームカメラ／赤外線など）
- ・ 高度を上げた場合、機体の前後確認の目視性が悪い。



（2019年3月 時点）

株式会社ENEOSマテリアル（鹿島工場）

事業所 基礎情報

事業種類

石油化学

総面積

約34.5万m²

ドローン活用実績

点検対象の状態

通常運転時（点検作業）

点検目的・点検箇所

外観点検 ・ 建屋屋根

ドローン運用事業者

自社

想定した
リスク事象

- ・ ドローンの目視外運転中に機体の操作を誤り、墜落すること。
- ・ 建屋に近づき過ぎて、機体挙動が不安定になること。

実施した
リスク対策

- ・ 監視者による機体挙動の確認及び操作者へ逐次連絡。
- ・ 近接センサーが発報した場合は、直ちに建屋から離れること。
- ・ 飛行エリア周辺の立ち入り制限。

ドローン活用
のメリット

- ・ 足場を組む前に状態確認ができる為、事前の部品発注が可能。
- ・ プラントの運転中には接近できない箇所の点検が可能。

ドローン活用
の課題点

- ・ 建屋の死角に入ってしまうと、機体の前後確認の目視性が悪い。



（2019年3月 時点）

株式会社ENEOSマテリアル（四日市工場）

事業所 基礎情報

事業種類

石油化学

総面積

約58万m²

ドローン活用実績

点検対象の状態

通常時（点検作業）

点検目的・点検箇所

外観点検 ・ 建屋屋根内外

ドローン運用事業者

外部事業者

想定した
リスク事象

- ・ ドローンの目視外運転中に機体の操作を誤り、衝突・墜落すること。
- ・ 建屋に近づき過ぎて、機体挙動が不安定になること。

実施した
リスク対策

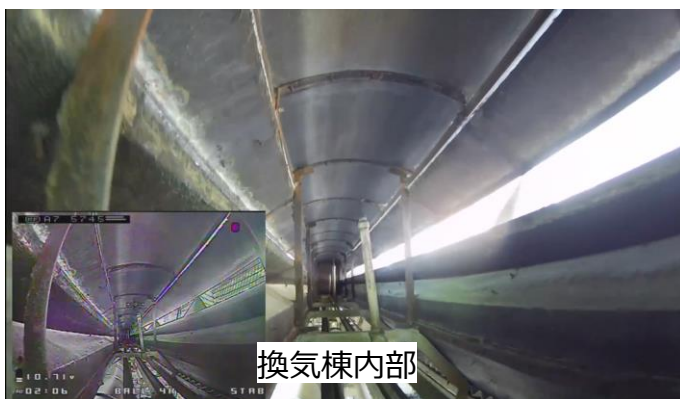
- ・ 監視者による機体挙動の確認及び操作者へ逐次連絡。
- ・ 軽量ドローン（200g未満）の活用。
- ・ 球体状ガードの取り付け。

ドローン活用
のメリット

- ・ 軽量機体のため安全に近接撮影が可能。
- ・ 足場を組む前に状態確認ができる為、事前の部品発注が可能。

ドローン活用
の課題点

- ・ FPV機体の操作難易度が高く、現状外部活用が前提。
（柔軟に点検日時を調整できる社内パイロット確保が望ましい）



（2021年3月 掲載）

株式会社ENEOSマテリアル（四日市工場）

事業所 基礎情報

事業種類

石油化学

総面積

約58万m²

ドローン活用実績

点検対象の状態

停止中（点検作業）

点検目的・点検箇所

機器内部狭所点検

ドローン運用事業者

外部事業者

想定した
リスク事象

- ・ ドローンの目視外運転中に機体の操作を誤り、衝突・墜落すること。
- ・ 対象に近づき過ぎて、機体挙動が不安定になること。

実施した
リスク対策

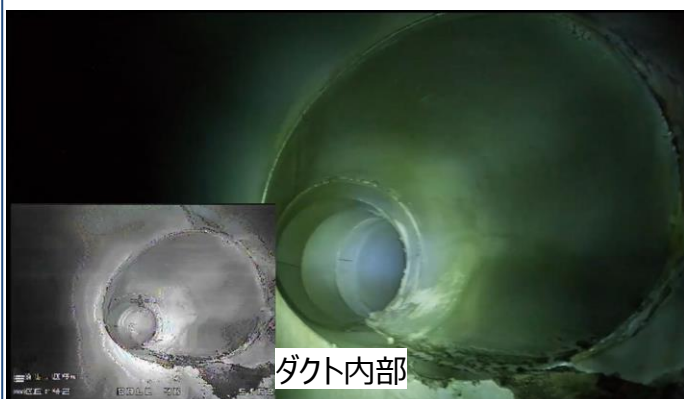
- ・ 監視者による機体挙動の確認及び操作者へ逐次連絡。
- ・ 軽量ドローン（200g未満）の活用。
- ・ 球体状ガードの取り付け。

ドローン活用
のメリット

- ・ 軽量機体のため安全に近接撮影が可能。
- ・ 通常目視できない末点検部位の確認。

ドローン活用
の課題点

- ・ FPV機体の操作難易度が高く、現状外部活用が前提。
（柔軟に点検日時を調整できる社内パイロット確保が望ましい）



株式会社ENEOSマテリアル（四日市工場）

事業所 基礎情報

事業種類	石油化学	総面積	約58万m ²
------	------	-----	--------------------

ドローン活用実績

点検対象の状態	停止中（点検作業）
点検目的・点検箇所	機器内部・高所点検、点群データ取得
ドローン運用事業者	外部事業者
想定した リスク事象	・ドローンの目視外運転中に機体の操作を誤り、衝突・墜落すること。 ・閉鎖空間のため操縦者とドローン間の通信が途絶すること。
実施した リスク対策	・安全運航管理者及び操縦者が目視及びモニター等による常時監視。 ・光学カメラにて距離を測定し、手元のモニターで確認。 ・延長アンテナをタンク内部に配置し通信を確保。
ドローン活用 のメリット	・通常目視できない末点検部位（高所）の確認。 ・短時間で高所の動画及び点群データの取得が可能（足場設置不要）。
ドローン活用 の課題点	・手動操作となるため操作難易度が高く、操作技術の習得に時間を要する。 （GPSによる位置情報の取得ができない） ・内部で飛行不能となった場合のドローン回収方法の確立



事業所 基礎情報

事業種類

石油精製

総面積

100万m²

ドローン活用実績

点検対象の状態

通常運転時

点検目的・点検箇所

配管／タンク／フレア設備／
塔本体・塔頂配管／塔槽内部／栈廻り

ドローン運用事業者

自社



想定した
リスク事象

- ・ 防爆エリアへのドローンの落下
- ・ 設備へのドローンの落下
- ・ 人へのドローンの落下
- ・ ドローンの耐風性能

実施した
リスク対策

- ・ 周囲の危険物施設との距離を適切に保つ
- ・ ドローンへの立ち入り禁止区域の設定／危険物設備の上部を航行しない運用
- ・ 十分な監視体制（監視人数等）の構築
- ・ ドローンの落下時の安全対策
- ・ 損害保険への加入
- ・ 適切な操縦者（資格の保有等）の配置

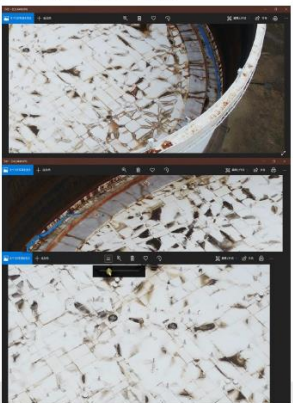
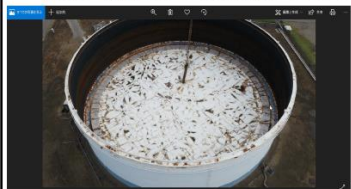
ドローン活用
のメリット

- ・ 足場仮設費、点検人工の削減および危険作業の回避（コストメリットは未試算であるが数千万円の効果は発現すると考えている）
- ・ 災害状況の詳細把握に有効（特に人が近づけない状況での活用）
- ・ 撮影結果に基づく自動での懸念箇所抽出（AI活用）
- ・ 飛行ルートプログラミングにより自動航行可能

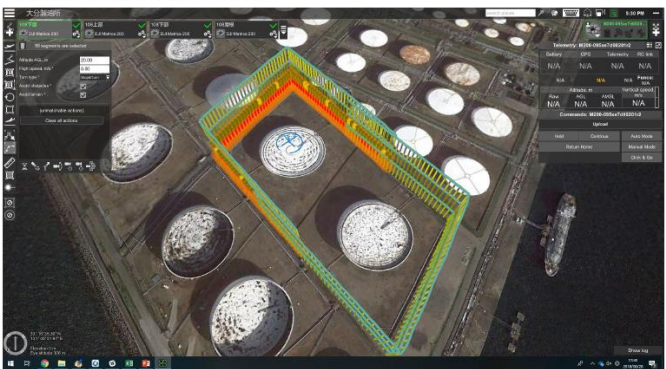
ドローン活用
の課題点

- ・ 危険物施設の上部を飛行できないため、死角が発生する（視野が狭まる）

撮影画像は倍率を変更することで詳細な確認が可能



108と109の石油タンクを対象に自動航行ソフトを使い高度20M・40M・60Mの高さで側面と上面を撮影するように設定



(2019年3月 時点)

事業所 基礎情報

事業種類

石油精製

総面積

320万㎡

ドローン活用実績

点検対象の状態

通常運転時

点検目的・点検箇所

タンク／フレア設備

ドローン運用事業者

自社

想定した
リスク事象

- ・ ドローンが落下し危険物施設を損傷させる可能性

実施した
リスク対策

- ・ 周囲の危険物施設との距離を適切に保つ
- ・ 十分な監視体制（監視人数等）の構築
- ・ 適切な操縦者（資格の保有等）の配置
- ・ 道路上および空地上に限り飛行させる

ドローン活用
のメリット

- ・ 設備の異常を早期に発見できる可能性がある。
- ・ 災害等緊急時には被害状況のいち早い状況把握に役立つと考えられる。

ドローン活用
の課題点

- ・ 十分に設備に近づけないと点検に必要な画像が撮影できない



(2019年3月 時点)

事業種類 精密化学品

ドローン活用実績

点検対象の状態 通常運転時

点検目的・点検箇所 工場敷地境界パトロール

ドローン運用事業者 自社

想定した
リスク事象

- ・ ドローンの墜落による、人、設備への危害、火災の発生
(墜落要因：機体故障、バッテリー消耗、飛行環境、GPS制御不能 等)

実施した
リスク対策

- ・ 人、危険物設備上空の飛行禁止
- ・ 飛行可能な気象条件の制約（風速、雨、雪）
- ・ 運用エリア、高度の制約
- ・ パイロットの手動操作訓練の実施

ドローン活用
のメリット

- ・ 不審者監視や保安トラブルの早期発見
- ・ パトロール業務の負荷削減

ドローン活用
の課題点

- ・ 悪天候時の運用
- ・ 機体落下時の安全性確保



事業種類 石油化学品

ドローン活用実績

点検対象の状態 通常運転時/開放点検時

点検目的・点検箇所 高所設備の点検

ドローン運用事業者 自社/点検会社

想定した
リスク事象

- ・ ドローンの墜落による、人、設備への危害、火災の発生
(墜落要因：機体故障、バッテリー消耗、飛行環境、GPS制御不能 等)

実施した
リスク対策

- ・ 人、危険物設備上空の飛行禁止
- ・ 飛行可能な気象条件の制約 (風速、雨、雪)
- ・ 運用エリア、高度の制約
- ・ パイロットの手動操作訓練の実施

ドローン活用
のメリット

- ・ 稼働中の設備を点検し、工事計画へ反映
- ・ 点検コストの削減や時間短縮

ドローン活用
の課題点

- ・ 悪天候時の運用
- ・ 飛行可能時間
- ・ 機体落下時の安全性
確保



事業種類 石油精製

ドローン活用実績

点検対象の状態 通常運転時

点検目的・点検箇所 フレアースタックの外観点検

ドローン運用事業者 点検会社

想定した
リスク事象

- ・ ドローンが風に流されて防爆エリアへ侵入すること
- ・ 無線計装の電波とドローンの操作用電波が干渉すること等
- ・ 輻射熱の影響

実施した
リスク対策

- ・ 飛行条件の設定（気象状況、飛行時間、飛行制限距離等）
- ・ 電波干渉がないか確認（GPS電波の受信状況確認）
- ・ 輻射熱計算による必要距離の確認

ドローン活用
のメリット

- ・ 足場設置等のコスト削減／高所における労働災害のリスク低減
- ・ アクセス困難な箇所への適用による設備の信頼性向上

ドローン活用
の課題点

- ・ 耐風性能の向上等
- ・ 防爆仕様



(2019年3月 時点)

三菱ケミカル株式会社

事業所 基礎情報

事業種類	石油化学	総面積	約160万m ²
------	------	-----	---------------------

ドローン活用実績

点検対象の状態	通常運転時		
点検目的・点検箇所	エレベーターフレア、グランドフレア点検		
ドローン運用事業者	検査会社		
想定したリスク事象	落下、風速、他計器などへの干渉		
実施したリスク対策	- 飛行区域および俯角内の立入禁止区画設置 - 風速、電磁波測定、低空挙動確認飛行⇒地上風速5m/s以下 - 電磁波測定⇒飛行前・飛行中に操縦周波数帯の電波が飛行エリア（地上）で出していないか確認 - バッテリーの安全裕度をみて60～70%で帰還（モニタで都度確認） 3名で対応（1人：操縦・カメラ操作＋1人補助 1人：監視） - 自動的に操縦に適した周波数帯域内のチャンネルを選定して飛行（外乱電波が飛んできても自動で別チャンネルに切替えて安定飛行する装置⇒周波数ホッピング・スペクトラム拡散） - フェールセーフ機能（操縦電波ロスト及びバッテリー残量低下時 GPSにより自動で離陸位置へ帰還） - 所内無線への干渉有無確認		
	ドローン活用のメリット		
ドローン活用の課題点	- 機器性能：防爆、積載重量、バッテリー消費（飛行時間）、落下時の着火 - 環境面：飛行区域の拡大（危険物取扱エリア）		

事業所 基礎情報

事業種類

石油精製

総面積

212万m²

ドローン活用実績

点検対象の状態

地震災害時

点検目的・点検箇所

- (1) フレア設備／煙突の損傷点検（外部）
- (2) 浮き屋根式タンクのスロッシングによる浮き屋根上への油流出点検

ドローン運用事業者

点検会社

想定した
リスク事象

- (1) 飛行、離陸・着陸時：操縦スキル不足による転落・危険物施設への衝突
- (2) 飛行時：気象条件悪化による操縦性の悪化で転落、衝突
- (3) 飛行時：ドローン部品の落下による危険物施設の損傷
- (4) 飛行時：ドローン本体の墜落による危険物施設の損傷

実施した
リスク対策

- (1) 十分な技量と経験を持つ専門業者による操縦を行なう
- (2) 障害物検知機能保有の機器使用
- (3) 国土交通省による飛行マニュアルに従った条件で飛行
例：風速5m/s<は飛行させない。雨天時は飛行させない等
- (4) 飛行前点検の徹底。危険場所直下での飛行禁止徹底

ドローン活用
のメリット

- <地震等の災害時における石油精製施設の迅速な保安状態の確保>
- (1) フレア設備や煙突等の高所においてドローンを活用することで保安状態がリアルタイムに視覚として情報入手可能
 - (2) タンク上に上らずに点検できることから危険作業を回避
 - (3) 地震等の災害時には人員や足場資材が手配困難であり、点検に要する時間を短縮
 - (4) 足場を組む必要や点検人員の人件費が節約できれば数千万円の効果

ドローン活用
の課題点

- (1) 機器やタンク、大口径配管の内部等の周囲の電波を遮蔽する可能性のある箇所での自律飛行についての精度向上が課題
- (2) 機器内部で防塵やほこりがある環境下では、モータートラブル繋がる為、ドローンモータの耐防塵が課題

JFEスチール株式会社 西日本製鉄所（倉敷地区）

事業所 基礎情報

事業種類

鉄鋼

総面積

約1090万m²

ドローン活用実績

点検対象の状態

大規模災害発生時および通常運転時

点検目的・点検箇所

大規模災害発生時の構内状況確認・外観腐食傾向管理・
大型建設案件の記録ドキュメント化

ドローン運用事業者

自社またはドローン業者

想定した
リスク事象

- ・ 風によりドローンが敷地エリア外へ侵入・落下すること
- ・ 各種電波とドローンの操作用電波が干渉
- ・ 落下したドローンによる人的被害・設備損傷

実施した
リスク対策

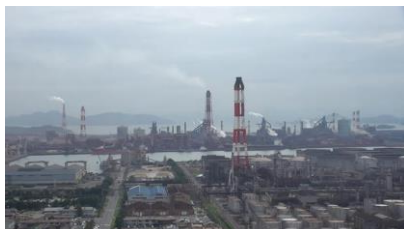
- ・ GPS運転、風速管理（起点風速：10m/s以下）
- ・ 人員配置（3名体制：操縦者、補助者、安全確保担当）
- ・ ドローン落下対策 ①操縦者の技能確保（定期操縦訓練と評価）
②自動帰還機能による担保

ドローン活用
のメリット

- ・ 点検作業の省力化、安全性の向上（高所作業回避、点検頻度アップ）
- ・ ドローン自動航行技術で撮影し、AI画像解析技術を組み合わせることにより、
設備異常の早期検知や劣化度の傾向管理の実現
- ・ 腐食箇所の評価・診断の標準化・脱属人化（ベテランの知見蓄積）
- ・ プラントの状況を俯瞰で把握、点検、補修箇所等の投資配分の最適化

ドローン活用
の課題点

- ・ 非GPS環境（配管・ダクト内等）での動作安定性
- ・ 気象条件の影響
- ・ バッテリー（飛行）時間制約



大規模災害時の構内
確認（非防爆エリアから
のズームアップ）



大型建設記録

出光興産株式会社（徳山事業所）

事業所 基礎情報

事業種類	石油化学	総面積	約216万m ²
------	------	-----	---------------------

ドローン活用実績

点検対象の状態	装置定修工事時
点検目的・点検箇所	煙突内部、埋設配管内部の目視検査
ドローン運用事業者	点検会社、ドローン事業者

想定した リスク事象	・ 煙突内部でのドローンの接触により、損傷、落下すること ・ 無線計装の電波とドローンの操作用電波が干渉 ・ 落下したドローンによる設備損傷
---------------	--

実施した リスク対策	・ 落下リスク低減の為、球体ガード、防塵用プロテクタ付きのドローン選定 ・ 煙突ドローン検査時、操作者の安全確保の為、煙突外での操縦 ・ 人員配置（3名体制：操縦者、補助者、安全確保担当）
---------------	--

ドローン活用 のメリット	・ 巡回点検作業の省力化、安全性の向上（高所作業回避、点検頻度アップ） ・ 煙突、加熱炉（ボイラー）、タンク、配管等の設備異常の早期検知や劣化度の傾向管理の実現 ・ 腐食箇所の評価・診断の標準化・脱属人化（ベテランの知見蓄積）
-----------------	---

ドローン活用 の課題点	・ GPS動作安定性 ・ 気象条件の影響 ・ バッテリー（飛行）時間 ・ 防爆対策 ・ 規制緩和
----------------	--



（2021年3月 掲載）

事業所 基礎情報

事業種類	石油化学	総面積	170,000平米 (対象地区)
------	------	-----	---------------------

ドローン活用実績

点検対象の状態	通常運転時
点検目的・点検箇所	フレースタックの外観目視・UT肉厚測定 of 自主検査
ドローン運用事業者	外部業者
想定した リスク事象	・ 強風、電波ロス、バッテリー残量低下によるドローンの墜落、逸走 ・ 操縦困難に陥った場合、設備や人への衝突被害
実施した リスク対策	・ 監視人配置、立入禁止区域の設定 ・ ドローン離陸前の風速、電波、バッテリー残量を複数人で監視 ・ 緊急時の着陸ポイントを事前に設定し、無理がない飛行ルートでの運用
ドローン活用 のメリット	・ フレア-スタック全体を短時間で外観目視検査可能 ・ リスクの高い箇所のUT肉厚測定により劣化傾向を定量的に管理 ・ 足場架設にかかる費用および工期の削減、検査員人工の削減 ・ 高所作業を行う作業員の事故を回避
ドローン活用 の課題点	・ 防爆対応 ・ 1フライトあたりの飛行時間 ・ 気象条件の影響 

株式会社レゾナック（大分コンビナート）

事業所 基礎情報

事業種類	石油化学	総面積	約170万m ²
------	------	-----	---------------------

ドローン活用実績

点検対象の状態	離船中（PoC）
点検目的・点検箇所	ケレン機能を兼ね備えた水中ドローンによる係留設備の点検・清掃
ドローン運用事業者	外部事業者
想定した リスク事象	・水中ドローン(28kg)投入・引揚げ作業時に作業員が海中へ転落する恐れがある。 ・設備へのテザーケーブルが絡まることにより、機体回収不可な状態となる。 ・海水の透明度により潜水箇所が分からなくなり、設備へ衝突する恐れがある。
実施した リスク対策	・ライフジャケットの着用や安全帯の使用、事前KYを行う。 ・テザーケーブルさばき用の人員を配置する。 ・測位装置やGPSコンパス、ソナーを利用する。
ドローン活用 のメリット	・水中ダイバーが不要となるため、安全性が格段に向上する。（人命第一） ・設備に張り付いた牡蠣殻やフジツボなどのケレン作業が容易となる。 ・ダイバーが撮影するときよりも撮影ブレを低減できる。
ドローン活用 の課題点	・当該ドローンはオプション含めて非常に高額であり、ROIを正確に出す必要がある。 ・社員や協力企業が行う場合、テザーケーブルさばきの為のスキル習得が必要となる。 ・どのエリアでも簡単にドローンを投入・引揚げできるような装置が必要となる。 ・膨大な映像や画像を保管～解析するための一貫した利用環境構築が必要となる。



4. 海外企業の事例

※2019年3月時点

海外企業のプラントにおけるドローン活用事例について、文献調査及び現地でのインタビュー調査を踏まえた活用事例を示す。

Cyberhawk社（本社：英国）

事業所 基礎情報

事業種類

プラント点検会社

事業領域

石油・ガス開発、石油精製、化学工業、
電力、船舶

ドローン活用実績

点検対象の状態

通常運転時／設備開放時

点検目的・点検箇所

高所設備の点検（洋上／陸上）、オフショア設備、タンク内部の点検、3Dマップ作成等

ドローン運用状況

35機のドローンを活用し、年間3,000回程度の飛行実績を有す

想定した
リスク事象

- ・ 金属製の物体付近に飛行させる際の磁気の干渉による影響
- ・ 天候、風速等の飛行環境

実施した
リスク対策

- ・ 操縦士の育成（通常、OJTを含め1年をかけて育成を実施し、マニュアル操縦が可能なレベルまで育成する）
- ・ 磁気干渉の影響が受けにくい機体の採用
- ・ 目視による操縦の実施
- ・ 風速は約13m/sに制限し実施
- ・ 定期的な解体点検の実施（50時間毎）

ドローン活用
のメリット

- ・ 点検コストの削減や時間短縮
- ・ 早期の欠陥の発見

ドローン活用
の課題点

- ・ 自社ソフトウェアCOMISを活用したデータ管理
- ・ 3Dマッピングを活用した効率化
- ・ AIを活用した欠陥等の検出



(1)

出典：Cyberhawk社 HP
<https://thecyberhawk.com/case-studies/>

Sky Future社（本社：英国）

事業所 基礎情報

事業種類

プラント点検会社

事業領域

石油・ガス開発、石油精製、化学工業、電力、通信、船舶

ドローン活用実績

点検対象の状態

通常運転時／設備開放時

点検目的・点検箇所

タンク、フレア設備、栈橋、オフショア設備、プラント全体のガス検知、3Dマップ作成等

ドローン運用状況

世界27か国以上で実績を有し、飛行実績は11,000時間以上

想定した
リスク事象

- ・ 電磁波やGPSの障害
- ・ 風速、パイロットの能力、対象設備に応じたリスクアセスメントの実施

実施した
リスク対策

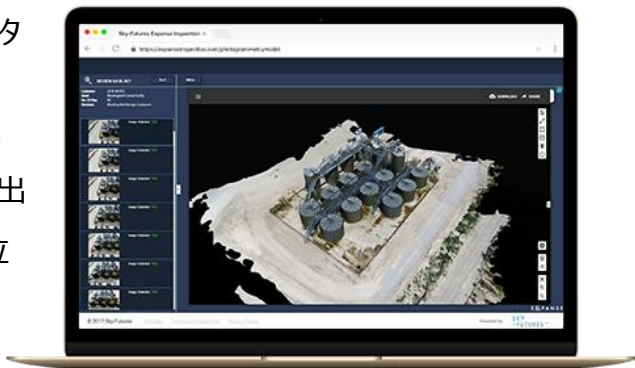
- ・ 操縦士の育成（通常、1 か月は専用施設で訓練を実施）
- ・ 目的に応じた機体の選定
- ・ 目視による操縦の実施
- ・ 風速は約15m/sに制限し実施
- ・ 設備から5m程度の離隔を確保

ドローン活用
のメリット

- ・ 点検コストの削減や時間短縮
- ・ 早期の欠陥の発見
- ・ 頻繁な点検の実施

ドローン活用
の課題点

- ・ 自社ソフトウェアを活用したデータ分析・管理
- ・ 3Dマッピングを活用した効率化
- ・ AIを活用した欠陥や腐食の検出
- ・ データ分析による点検の優先位付け
- ・ AIによる点検報告書作成



(1)

出典： Sky Future社 HP
<https://www.sky-futures.com/expanse/automate-oil-and-gas-onshore-inspection/>

海外のドローン活用事例

ドバイ石油

ドバイ石油社において、オフショア設備のライザー、フレアスタック、及び橋の検査にドローンが用いられている。



(①)

出典：Cyberhawk社 HP
<https://thecyberhawk.com/case-study/350-risers-63-offshore-platforms-inspected-month-dubai-petroleum-using-uavs/>

英国化学会社

Cyberhawk Innovation社では、主要な化学会社の英国のプラントにおいて、ドローンを用い、石油貯蔵タンク内の溶接品質を検査した。



(③)

出典：Cyberhawk社 HP
<https://thecyberhawk.com/case-study/1896/>

SHELL

SHELL社のオランダにあるMoerdijk化学プラントでは、フレアスタック検査のためにドローンを用いた。

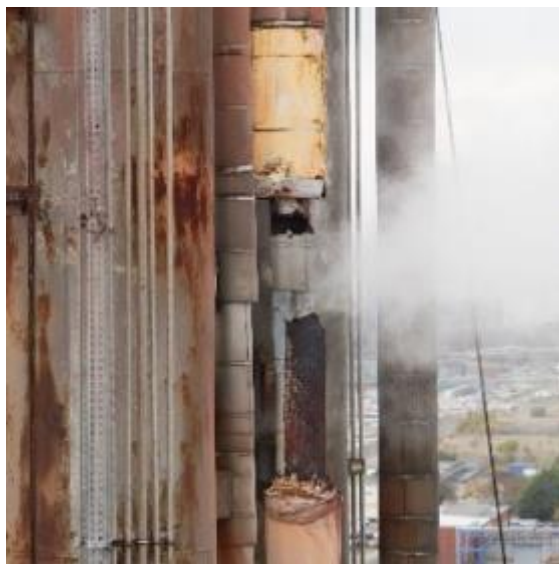


(②)

出典：Cyberhawk社 HP
<https://thecyberhawk.com/case-study/shell-moerdijk-flare-inspection-netherlands/>

英国石油化学会社

Cyberhawk Innovation社では、英国の石油化学会社のプラントにおいて、ドローンを用い、フレア近くにある蒸気吹き出し口の劣化を監視し、落下リスクを見積もった。



(④)

出典：Cyberhawk社 HP
<https://thecyberhawk.com/case-study/regular-inspection-steam-leak-elevated-flare-stack/>

海外のドローン活用事例

Chevron

Chevron社では、北海の、Captain油田及びAlba油田において、ドローンを使用してフレアスタックを監視している。他にドローンによるパイプライン等の監視を検討している。また、ドローンに搭載した赤外線カメラ映像が、油流出時の海水と油の区別に有用であることを実験で確かめている。



(①)

出典：Chevron社 HP

<https://www.chevron.com/stories/unmanned-flights-promise-enhanced-data-collection>

SHELL

SHELL社では、ノルウェーのOrmen Langeガス処理工場でフレアスタックや、高いタワー等の高所にある設備、及びオフショアオイルリグ等の検査にドローンを使用している。



(②)

出典：SHELL社 HP

<https://www.shell.com/inside-energy/eye-in-the-sky.html>

GAZPROM NEFT

GAZPROM NEFT社では、本社だけでなく、その子会社で生産を担当するGazpromneft-Noyabrskneftegazや、Tomskneft VNKにおいて、パイプラインの監視にドローンを活用している。



(③)

出典：GAZPROM NEFT社 HP

<https://www.gazprom-neft.com/press-center/news/1106483/>

BP

BP社では、米国インディアナ州にあるWhiting製油所において、フレアスタックを点検するためにドローンを導入した。他にアラスカのパイプラインの監視にドローンを用いる実験も実施済み。パイプライン検査においては、霜によって傷つき、修復を要している場所を特定するためや、油流出への対応業務等に活用される。



(④)

出典：BP社 HP

https://www.bp.com/en_us/bp-us/media-room/multimedia/videos/drone-tech.html
<https://www.bp.com/en/global/corporate/news-and-insights/bp-magazine/drones-provide-bp-eyes-in-the-skies.html>

海外のドローン活用事例

TOTAL

TOTAL社では、危機管理訓練においてドローンを活用した画像等を対策チームへ送信するデモを実施した。



出典：UAVIA社 HP (①)
https://www.uavia.eu/PR_ENGLISH_25062018_UAVIA.pdf

Dow Chemical

Dow Chemical Company社では、テキサス州のFreeportプラントやルイジアナ州のプラントでドローンを用いた点検を行っている。点検では12m高さのタンクの亀裂やシールの状況や、高い場所や狭い場所の確認にドローンを用いている。同社は既に3機のドローンを配備している。



出典：Dow Chemical社 HP (③)
<https://corporate.dow.com/en-us/news/media-gallery>
出典：Chemical & Engineering News
<https://cen.acs.org/articles/94/i9/Drones-detect-threats-chemical-weapons.html>

SHELL

SHELL社ではガスプラントにおいて高所におけるガス漏洩検知などにドローンを活用している。



出典：SHELL社 HP (②)
<https://www.shell.com/inside-energy/eye-in-the-sky.html>

Sky Future

Sky Future社（プラント点検会社）では、マレーシアの主要な石油・ガス田において、運転停止前の検査として、2つのフレアチップの状態を把握するために、ドローンによる事前点検を実施した。



出典：Sky Future社 HP (④)
<https://www.sky-futures.com/oil-and-gas-drone-inspection-prevents-unscheduled-shutdown/>

令和元年度プラントにおけるドローン活用に関する安全性調査研究会 委員等名簿

座長

木村 雄二 工学院大学 名誉教授

委員（五十音順、敬称略）

入江 裕史 株式会社スカイウィングス 最高執行責任者（COO）
小山田 賢治 高圧ガス保安協会 高圧ガス部長代理
川越 耕司 一般社団法人日本化学工業協会
（三菱ケミカル株式会社 環境安全部 安全グループ グループ
マネージャー）
田所 諭 東北大学大学院 情報科学研究科 応用情報科学専攻 教授
土屋 武司 東京大学大学院工学系研究科 航空宇宙工学専攻 教授
榊谷 昌隆 石油化学工業協会（J S R株式会社 生産技術部長）
和田 昭久 一般社団法人日本産業用無人航空機工業会 理事
渡辺 聖加 石油連盟（J X T Gエネルギー株式会社 工務部 設備管理グ
ループ チーフスペシャリスト）

オブザーバー（敬称略）

出光興産株式会社 製造技術二部
上野グリーンソリューションズ株式会社 事業開発部
上野トランステック株式会社 戦略推進部
エアロセンス株式会社 営業部
株式会社NTT ドコモ 法人ビジネス戦略部
株式会社エンルート 経営戦略部
株式会社自律制御システム研究所 事業推進ユニット・カスタマーリレーシ
ョン
株式会社デンソー 社会ソリューション事業推進部 UAVシステム事業室
株式会社日立製作所 ディフェンスビジネスユニット情報システム本部
山九株式会社 プラント・エンジニアリング事業本部
メンテナンス事業部メンテナンス技術部 診断・溶接グループ
住友化学株式会社 レスポンシブルケア部
総合警備保障株式会社 開発企画部開発企画課
Terra Drone 株式会社 日本本社
日揮株式会社 未来戦略室
日本工業検査株式会社 技術本部
ブルーイノベーション株式会社 プロダクト&パッケージ部
独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 環境安全・技術部担当審議役
神奈川県 暮らし安全防災局 防災部工業保安課 コンビナートグループ
千葉県 千葉県商工労働部産業振興課
市原市 経済部 商工業振興課

総務省消防庁 特殊災害室
総務省消防庁 危険物保安室
厚生労働省 労働基準局 安全衛生部 化学物質対策課
経済産業省 製造産業局 素材産業課
経済産業省 製造産業局 産業機械課
経済産業省 産業保安グループ 高圧ガス保安室
経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部 石油精製備蓄課

事務局

みずほ情報総研株式会社