

プラントにおけるドローン活用事例集

2019年3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。

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。

2019年3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)

目次

1． 国内企業の活用状況	P.3
2． 実証実験の事例	P.6
3． 国内企業の事例	P.19
4． 海外企業の事例	P.32

1. 国内企業の活用状況

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。

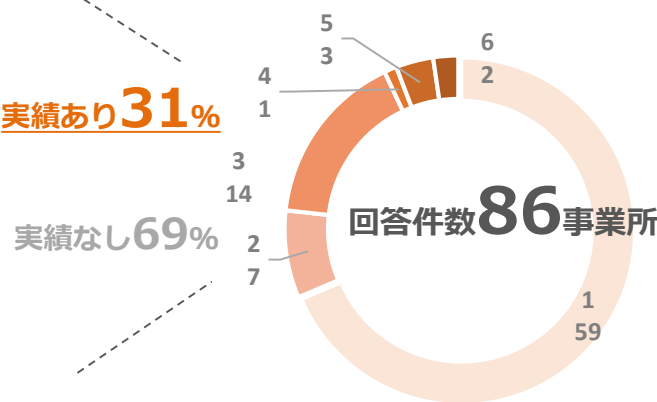
国内企業のドローン活用状況

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。

ドローンの活用実績と頻度（事業所）

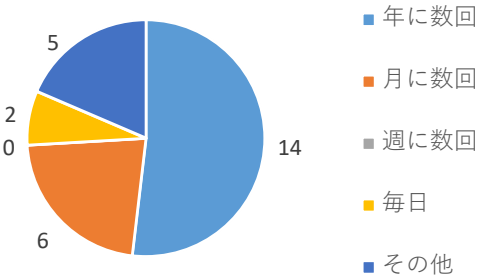


ドローン活用ニーズの有無

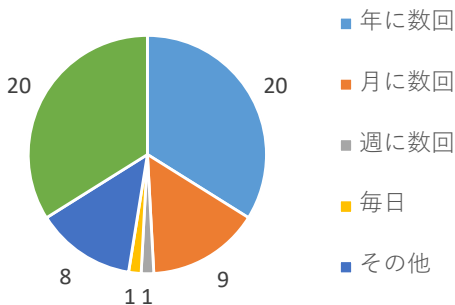
活用実績のある27事業所については、全ての事業所で活用ニーズがあり、年に数回活用したいという回答が最も多かった。次に活用実績がない59事業所については、39事業所で活用ニーズがあり、こちらも年に数回活用したいという回答が最も多かった。

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）



ドローンの活用ニーズ （活用実績がない企業）



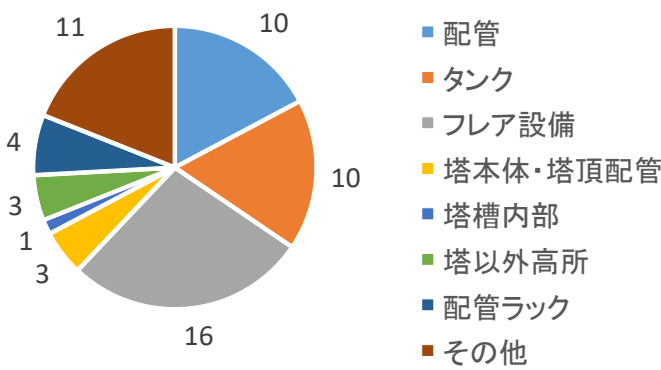
国内企業のドローン活用状況

ドローンを活用した点検実施箇所・活用時の留意点

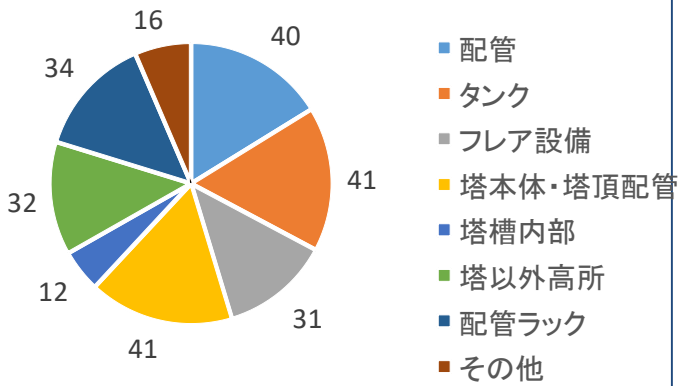
点検実施箇所

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



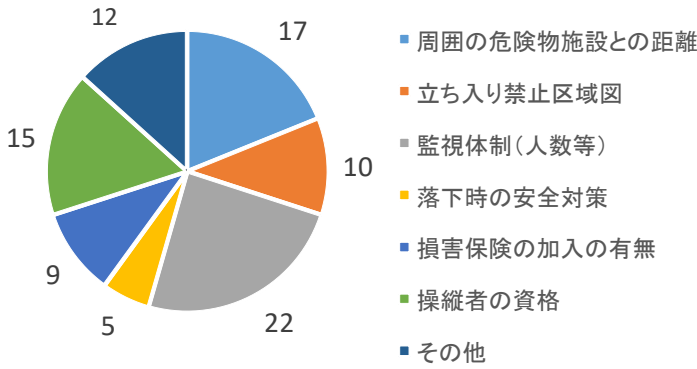
点検を実施したい箇所



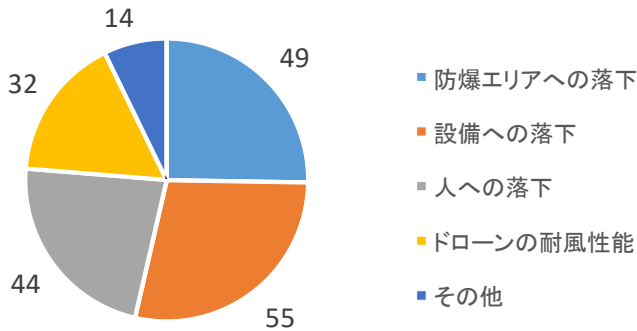
ドローン活用時の留意点

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

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】 爆発性雰囲気を生じ得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・補助者各、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		
		バッテリー残量は充分か、充電したか		
	バッテリー	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		
		プロポ電池残量は充分か、充電したか		
	プロポ	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		
		フライトモニターがPCにインストールされているか		
	フライトモニター	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		
		テストフライトを行って異常がないか確認したか		
	テスト飛行による確認	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		
		フライトモニター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		
		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	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		
		計画通りの飛行状況(高度、緯度・経度)か		
本実証実験特有の確認	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		

※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。

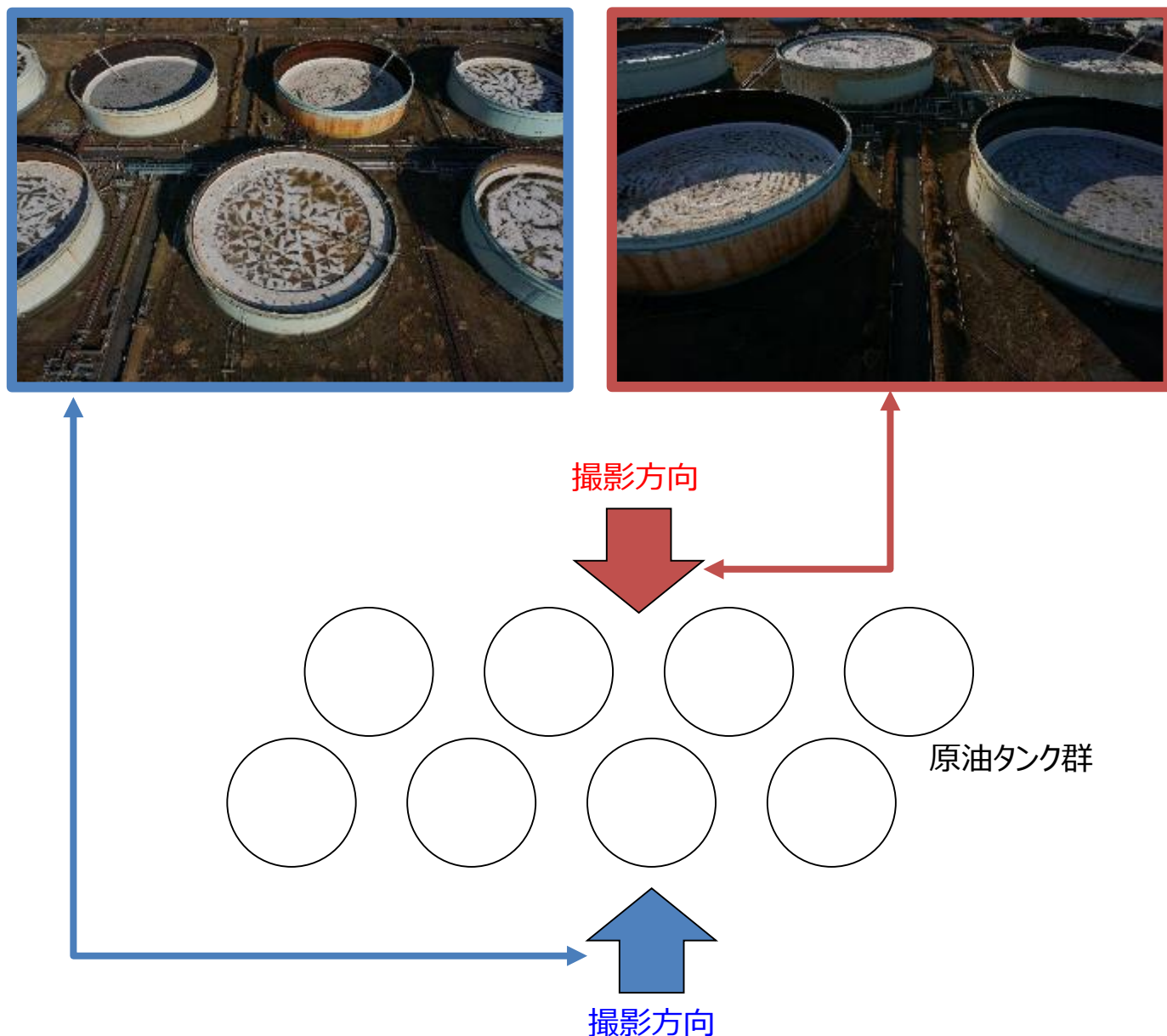
■その他

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タンク中ほぼ全てと言える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。

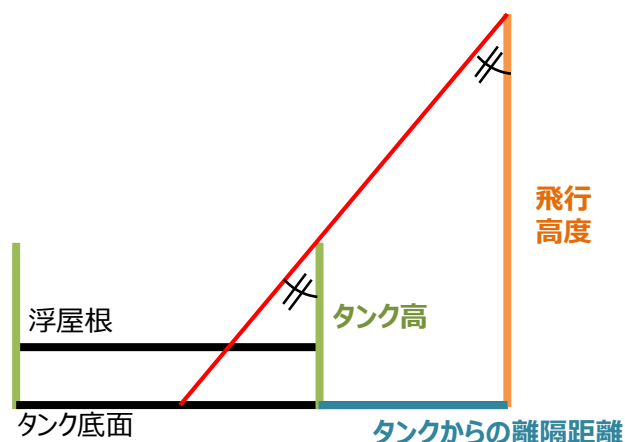
浮屋根の一部を撮影することが出来なかった原因としては、以下2点が重なったことが原因を考えられる。

- 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。

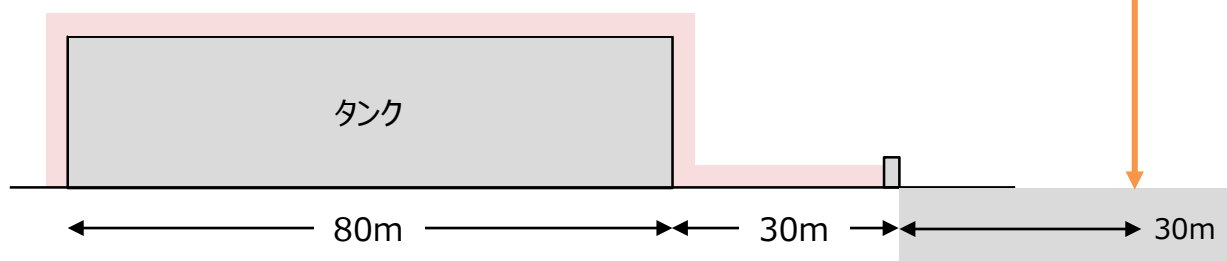
- タンクを囲む防油堤との離隔距離30mの位置を飛行するとした際の概念図を以下に示す。
- 本実験においては、離隔距離を一定とし、風速に応じて飛行高度を上下させることで、“落下予測範囲”が常に30m以内となるように調整するというリスク対策を実施した。
- 風速と飛行高度の関係の算出根拠について、次ページに示す。

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)

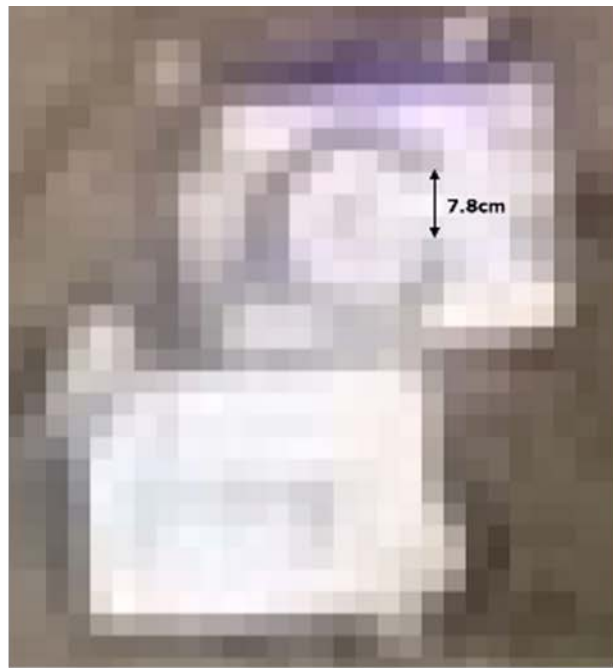
カメラの性能への影響について

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

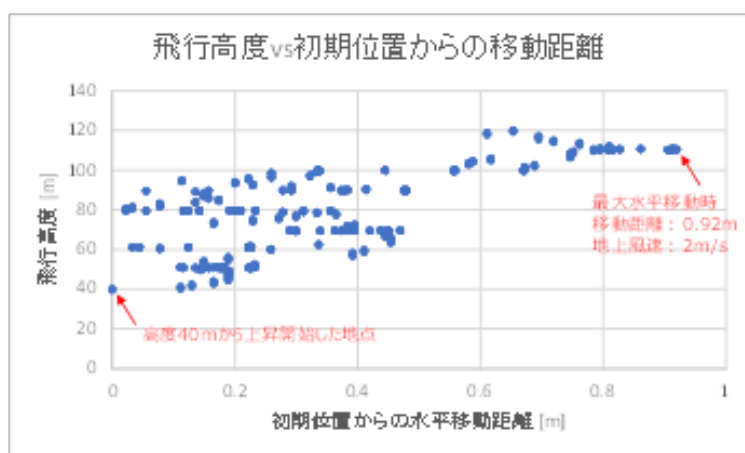
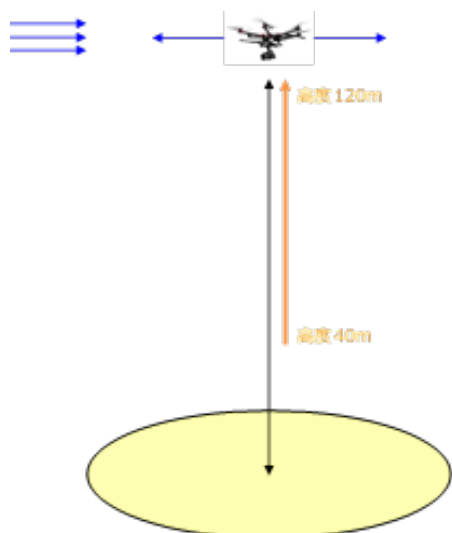
一番大きな「C」の文字の空白部分の長さは7.8cmとなっており、これが約3ピクセルで表示されていることが読み取れるため、1ピクセルあたり2.6cm程度の解像度が得られていることがわかった。これは本実験で用いたカメラの理論上の解像度と比較して遜色ないことから、ドローンに搭載した状態であっても、カメラ本来の機能が発揮できたと考えられる。

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)

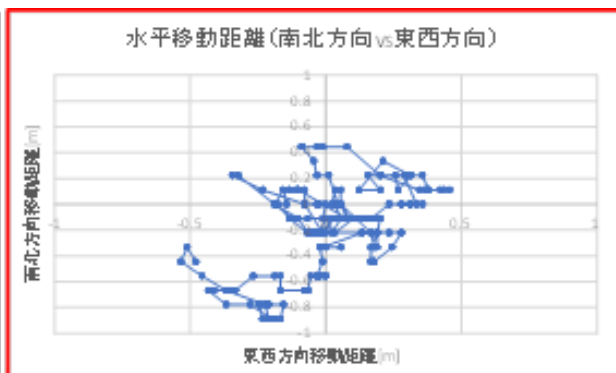
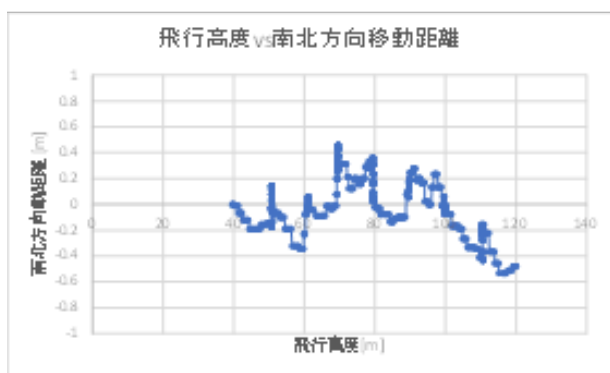
ドローンの飛行安定性について

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。

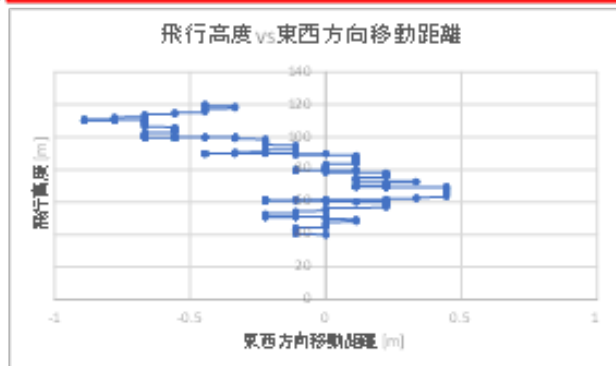


さらに詳細なGPSログについて下図に示す。

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。



3. 国内企業の事例

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） ・通信干渉
ドローン活用 の課題点	・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



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）

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、点検作業効率が低い。



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。



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。



JXTGエネルギー株式会社

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

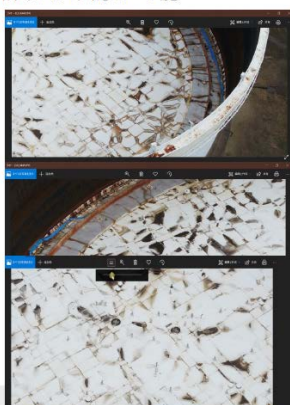
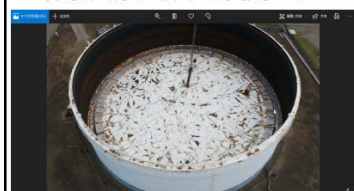
ドローン活用
のメリット

- ・ 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

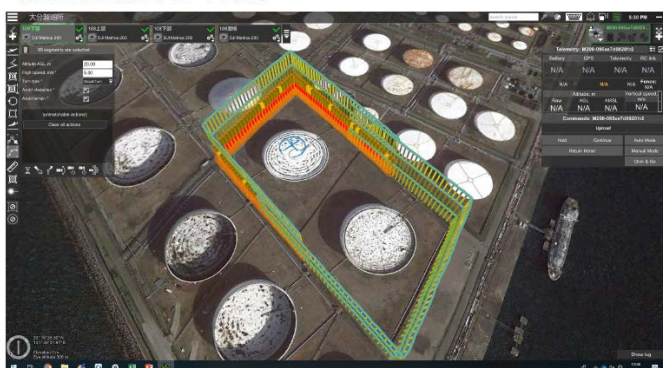
ドローン活用
の課題点

- ・ 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



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／フレアー設備
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



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
----------------	---



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

- ・ 高所やアクセスが困難な設備の点検
- ・ 足場仮設コストの低減、安全性向上

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

4. 海外企業の事例

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



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

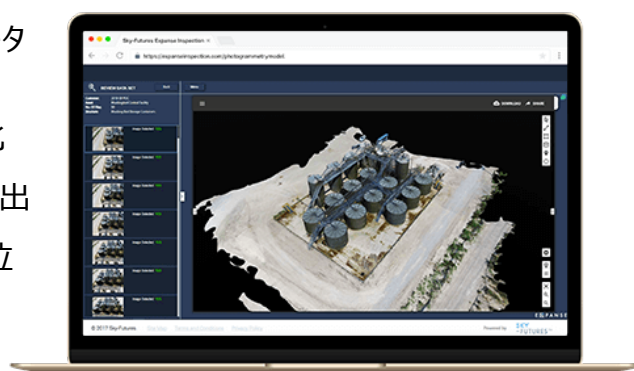
- ・ 操縦士の育成（通常、1 か月は専用施設で訓練を実施）
- ・ 目的に応じた機体の選定
- ・ 目視による操縦の実施
- ・ 風速は約15m/sに制限し実施
- ・ 設備から5m程度の離隔を確保

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



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。



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。



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

SHELL

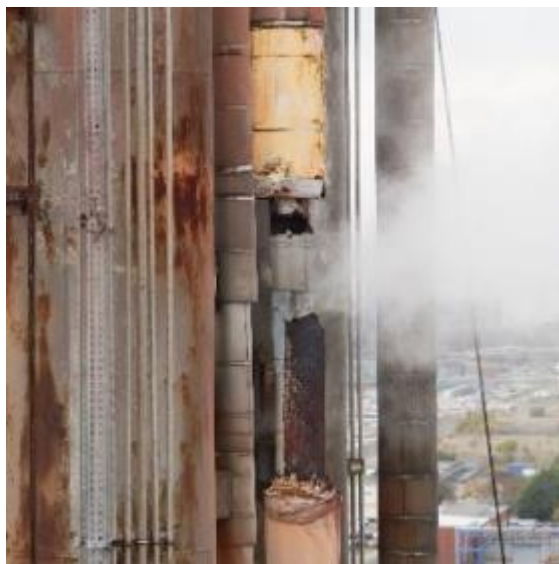
SHELL社のオランダにあるMoerdijk化学プラントでは、フレアスタック検査のためにドローンを用いた。



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。



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。



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。



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。



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。



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
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
<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
<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
<https://www.sky-futures.com/oil-and-gas-drone-inspection-prevents-unscheduled-shutdown/>

平成30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）
阪口 晃敏 一般社団法人日本産業用無人航空機工業会 会長
竹原 昌彦 石油連盟（出光興産株式会社 製造技術部 保全統括課 課長）
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）

オブザーバー（敬称略）

エアロセンス株式会社 営業部
株式会社エンルート 研究開発プロジェクト推進部長
株式会社自律制御システム研究所
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
J X T Gエネルギー株式会社 工務部設備管理グループ
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 事業開発部
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 くらし安全防災局 防災部工業保安課 コンビナートグループ

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 ロボット政策室
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