

屋外貯蔵タンクの効果的な予防保全に向けた ドローン活用の実証実験計画

背景

- 危険物施設におけるドローンの安全な運用方法については、「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等の送付について」（H31.3.29消防危第51号）により周知。（策定後2回の改訂を実施）
※石油コンビナート等災害防止3省連絡会議（消防庁、経済産業省、厚生労働省）における取組み。
 - ✓ 2019年3月：「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 初版」策定
 - ✓ 2021年3月：「プラントにおけるドローン活用事例集Ver3.0」へ改訂
 - ✓ 2022年4月：「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」へ改訂
- ドローンを活用した目視代替点検が可能であることは通知により周知はしているものの、従来の危険区域の考え方から、タンク供用時においては防油堤外からの撮影が前提となっていた。
- 屋外貯蔵タンクの定期点検では、目視点検を主とした点検が行われているが、側板の高所等点検困難箇所については、点検ができていない状況。（こうした部位の点検は足場等設置時にのみ行われる。）
- 「屋外貯蔵タンク周囲の可燃性蒸気の滞留するおそれのある場所に関する運用について」（R4.8.4消防危第175号）により、一定の条件下においては屋外貯蔵タンク周囲に可燃性蒸気は滞留せず、危険区域には該当しないものとする事により、可搬式の非防爆構造の電気設備・器具を使用することが可能となった。

【新技術を活用した屋外貯蔵タンクの効果的な予防保全に関する調査検討会】

- 屋外貯蔵タンクの維持管理の高度化、点検作業のスマート化に向け、新技術のうちドローン等を活用した効果的な予防保全に係る検討の実施

目的

- 屋外貯蔵タンクにおけるドローンを活用した点検方法に関するガイドラインを策定し、周知することにより、点検困難箇所における適時適切な詳細点検・補修を促進**



1. 実証実験の概要

実証実験の目的

■ 第1回の実験では、ヒアリングで抽出した課題を解決するために、タンク近接での安全な飛行の実現や人の目視に代替となる写真の撮影方法を検証[※]し、ドローンの有効性を実証

スコープ

- 飛行ルート：屋外貯蔵タンクの外周（外観撮影）
- 操縦方法：マニュアル飛行及び自律飛行での操縦と撮影
- 検証項目：
 - ✓ 従来の点検でタンク付属物の死角や階段などから遠く確認が難しかった箇所に対し、ドローンによる近接での撮影が点検に有効であるかを評価
 - ✓ 屋外貯蔵タンク近接での安定したドローン飛行と効率的な点検が可能であるかを評価
 - ✓ ドローンで撮影した写真・映像を利用した点検記録の作成方法を評価
 - ✓ 腐食・損傷の撮影に必要なカメラの性能や撮影条件を検証
 - ✓ 屋外貯蔵タンク近接でドローンを飛行させる為の安全対策を評価

体制

- 消防庁 : 実験オーナー
- タンク保有事業者 : 実証実験場所の提供による実証実験協力、既存点検の情報提供
- ドローン事業者 : ドローン飛行の操作および監督
- アクセンチュア : 実験の全体とりまとめ

スケジュール


■ ドローン飛行実験実施日：2022/10/31～2022/11/11のうち予備日を含め2日程度

※腐食・損傷個所などの撮影写真の画像判定は、第2回実験で実施するかを検討



第1回目の実証実験は北海道エリアの事業者に協力いただき、実験を実施予定。



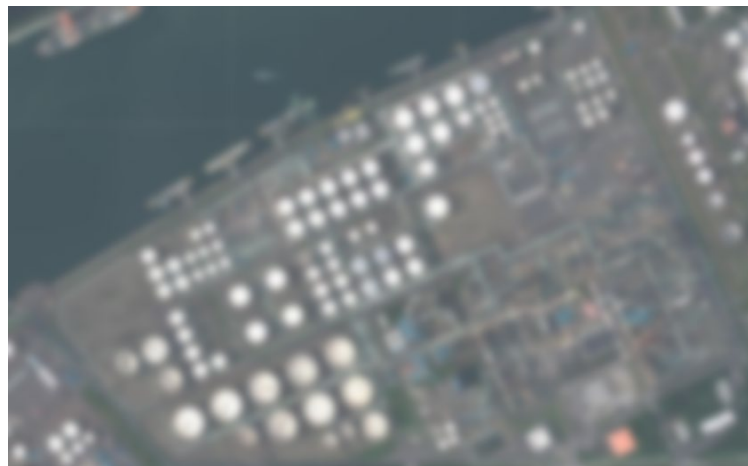
 : 人口集中地区 (令和2年総務省統計局)

2つの事業者に協力いただき、実証実験を実施予定。
現在調整中であり、最終変更になる可能性があります。

■ 事業者1



■ 事業者2



タンク近接での飛行リスクを踏まえSLAM※による位置制御が可能な機種を利用予定。

• 実験飛行本機1機+予備機1機

ACSL-PF2

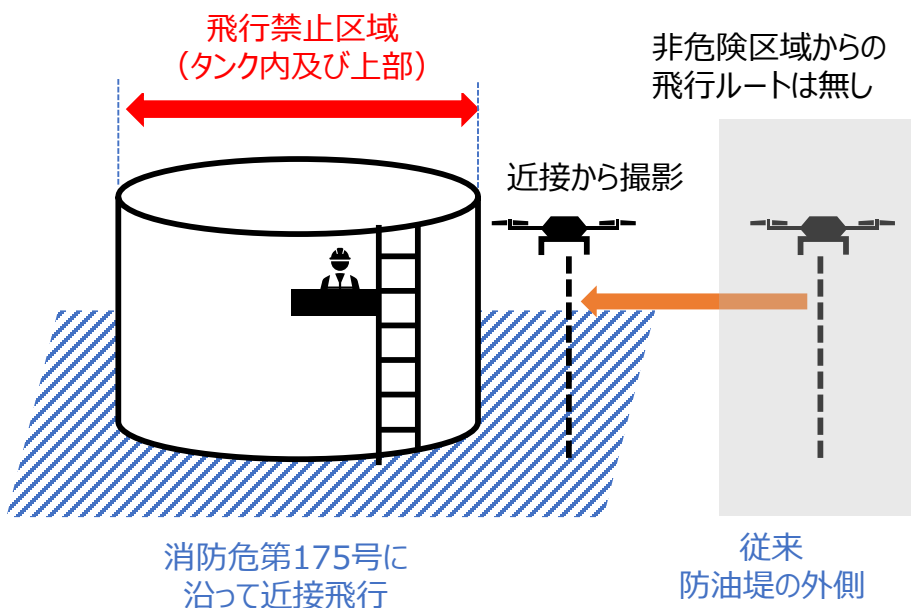


※SLAMとは、Simultaneous Localization and Mappingの略で、自己位置推定と周囲の地図作成を行う技術。

Specification		Description
構造	機体大きさ	全長（プロペラ範囲）：1,173 mm 高さ（カバー上面まで）：526 mm 高さ（アンテナ含）：654 mm
	重量（バッテリー、カメラ、センサー類の重量込み）	9.5 kg（機体本体 3.8 kg）
性能	飛行速度	水平：10m/sec 上昇：3m/sec 下降：2m/sec
	高度	150 m（航空法上限）
	最大対気速度	20 m/s
	最大ペイロード	2.75 kg
	最大飛行時間	29分（ペイロード無し） 15分（ペイロード 2.75 kg）
推進システム		ブラシレスDCモーター
バッテリー		LiPo 6S
フライト制御システム		オートパイロット ACSL AP 3
安全機能		<ul style="list-style-type: none"> ■ 防塵防水性：IP54 ■ 強風時のフェールセーフ ■ ルート逆順のGo home設定可能
オプション		<ul style="list-style-type: none"> ■ 6000万画素カメラ a7R4 ■ 2.4GHz映像伝送 ■ 5.7GHz映像伝送 ■ プロペラガード

第1回の実証実験では、人による目視点検の課題の解決、事業者がドローン活用を推進できるように撮影方法等を中心に実験

実証実験からの期待



人による目視点検や防油堤の外側からの撮影では点検が困難であった箇所に対し、ドローンによるタンクの近接点検の有用性を実証

- ✓ 従来の点検方法（地上やタンク階段などからの人による目視確認）では死角であった箇所が点検できること、安全に点検範囲を拡大できることを確認。
- ✓ 適切な機材選定と飛行ルートの設定を行えば、ドローンを活用し屋外貯蔵タンクを点検ができることを確認。
- ✓ 屋外貯蔵タンクに近接してドローンを飛行、撮影することで、従来の人の直接目視の代替になりうる撮影が可能になることを確認。

目視の代替となりうる鮮明な映像・写真を取得するための効果的な撮影方法と記録作成に関する実証

- ✓ 「マニュアル飛行+リアルタイム映像の活用」、「自律飛行+一定間隔で機械的に写真撮影」の2パターンの撮影を実施し、腐食や損傷を判断できる写真を撮影する為の条件やドローン及び機材の性能を確認。
- ✓ 使用するカメラや撮影角度、画像の詳細度、明るさで撮影パターン分けを行い、腐食・損傷箇所を評価可能な写真の撮影方法を確認。
- ✓ 撮影写真から展開図を作成し、腐食・損傷箇所の位置や詳細写真を利用した記録資料を効率的に作成する方法を確認。

タンクに近接させてドローンを飛行させるための安全対策の有効性を実証

- ✓ 供用中のタンクの近接飛行（5m以内）を想定し、安全にドローンを飛行させるためのリスク対策を実施し、対策の有効性を確認。

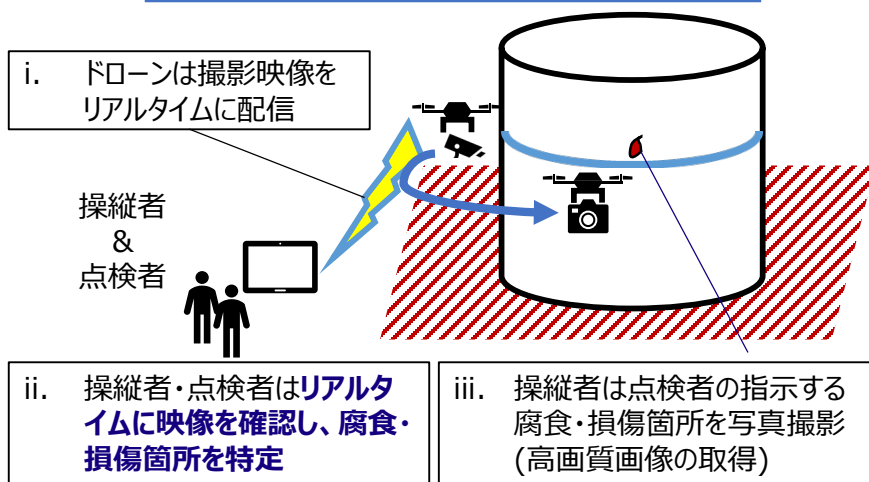
複数の撮影・確認方法のパターンを設定し、より効果的な撮影・確認方法を検証。

パターンA ドローンを操縦者がマニュアルで飛行させ、リアルタイム映像から腐食・損傷箇所を確認し、撮影が必要と判断される箇所の写真を撮影

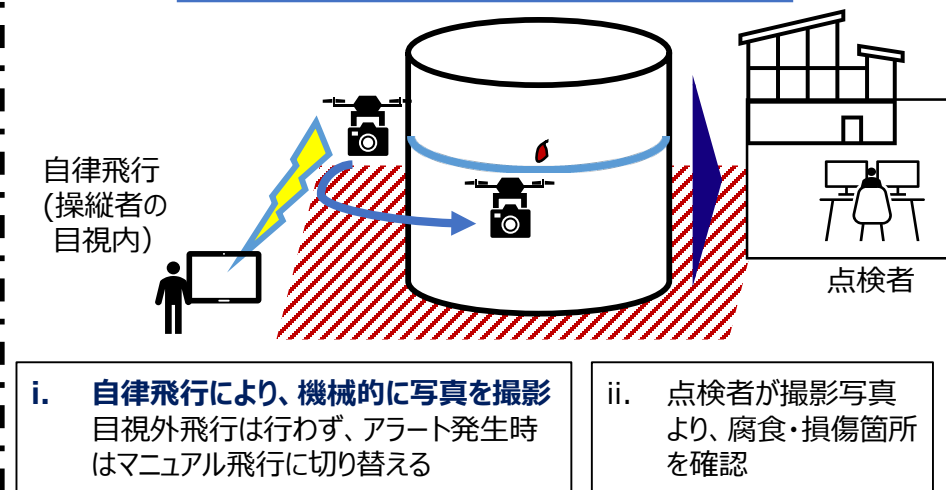
対応する課題
1-①、2-①、3-①③、4-①

パターンB ドローンによる自律飛行を行い、タンク外周の写真を機械的に撮影し、腐食・損傷箇所を確認

パターンAのイメージ*



パターンBのイメージ



検証のポイント【映像 📺】

- リアルタイム映像を利用することで、写真の撮影枚数を削減し、**写真のスクリーニング作業負担を軽減**
- 映像は写真に比べ、画質が粗いことが想定される為、**腐食、損傷箇所を把握できるかを確認**（ディスプレイ表示及び録画データ）

検証のポイント【写真 📷】

- 腐食等を確認できた位置の写真を撮影し、**腐食等の状況の把握に活用（詳細点検や補修の要否の判断）**
- 写真は**条件（撮影距離、角度、明るさ等）**を変えて複数枚、取得
- 点検の証跡として撮影位置情報とともに写真を保存

検証のポイント【写真 📷】

- 自律飛行により**写真を機械的に撮影（常に高画質画像を取得）**
- 点検者が事務所等で写真を確認し、腐食等の有無の把握に活用（別角度からの撮影の要否や詳細点検や補修の要否の判断）
- 点検時の証跡データとして撮影位置情報とともに保存、**記録作成**

※パターンAでは、保温材付タンクの外装板や雨仕舞い部の点検等が可能かどうかについて事業者からの許可が出れば、実機タンクで確認



4.実験内容（撮影方法）

映像・写真の撮影条件を複数パターンを設定し、腐食箇所等が判別しやすい条件を検証。

撮影条件の変更内容(案)

対応する課題
3-①、4-①②③

- カメラの画素数 : 6000万画素、2000万画素、800万画素
- 撮影画素寸法 : 1mm/pixel、1cm/pixel、2cm/pixel
- 明るさ : 日向 or 日陰
- 撮影角度 : 正面撮影or斜め撮影
- 撮影距離(目安) : 近接（5m以内）、7～10m程度、20m以上

点検対象とするタンクの確認およびドローンを飛行させる事業者との協議の上、検証パターンを決定

パターン	カメラ画素数	点検対象の撮影画素寸法	明るさ	角度	撮影距離目安
①	6000万画素	1mm/pixel	日向	正面撮影	7m
②	2000万画素	1mm/pixel	日向	正面撮影	3m
:	:	:	:	:	:
N	800万画素	2cm/pixel	日陰	斜め撮影	20m以上
:					

なお、撮影距離の計算には、以下の式が参考となる。

$$\text{※1撮影距離(m)} = \text{撮影対象の画素寸法(m)} \div \text{使用するデジタルカメラの1画素のサイズ(m)}^{\text{※2}} \times \text{焦点距離(m)}$$

※1 出典：国土地理院 UAV を用いた公共測量マニュアル（案）

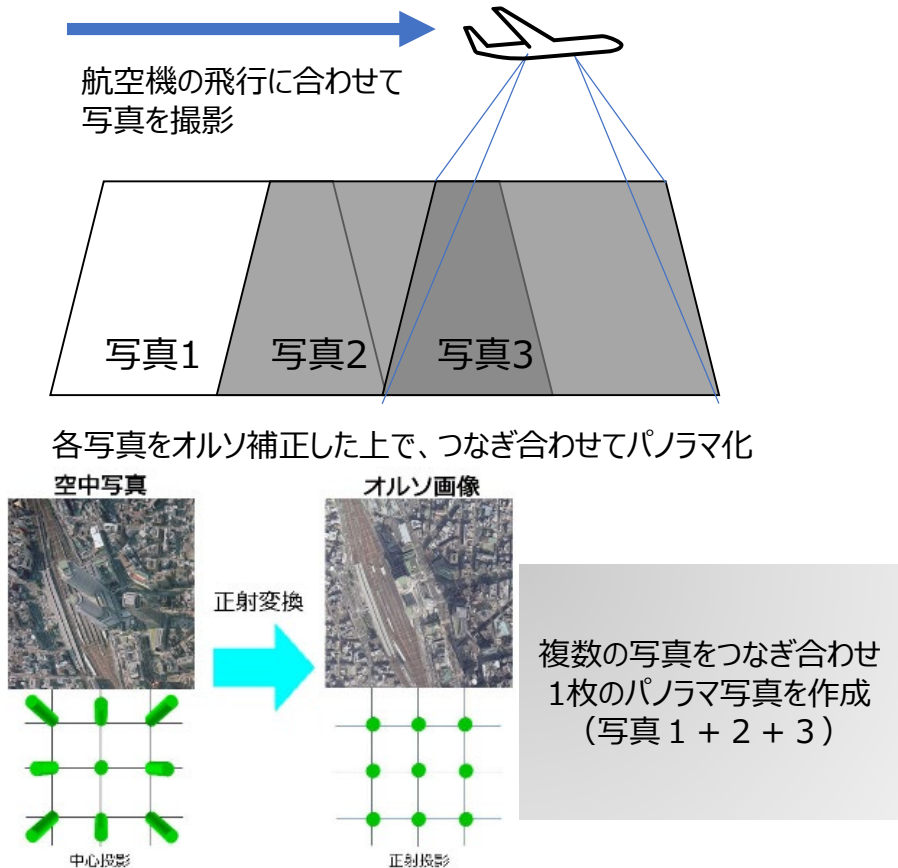
※2 使用するデジタルカメラの1画素のサイズ = $\sqrt{(\text{センサ面積(m}^2\text{)} \div \text{総画素数(pixel)})}$

撮影写真を利用した腐食、損傷位置の記録作成を検証。

ドローンで撮影したタンク側面の写真をオルソ画像化し、つなぎ合わせることで展開図の様なパノラマ写真を作成することで、点検箇所および腐食や損傷の位置の記録資料として活用することを検討。

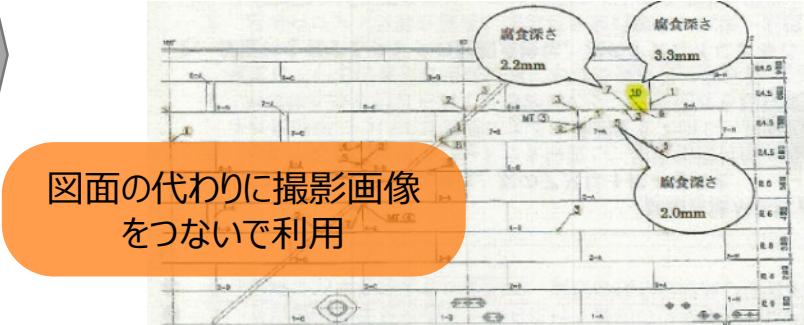
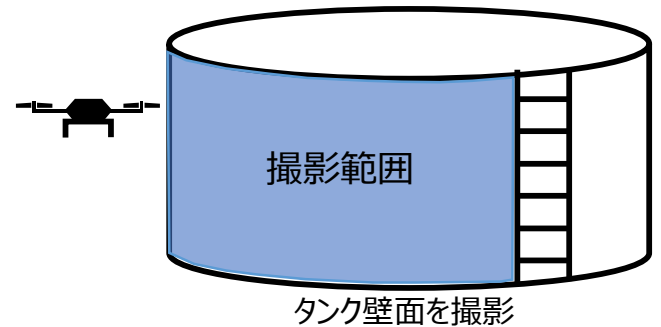
対応する課題
2-②③

航空写真などでは、複数枚の写真をオルソ化し、パノラマ画像として活用



※出典：国土地理院：オルソ画像について
<https://www.gsi.go.jp/gazochosa/gazochosa40002.html>

屋外貯蔵タンクの壁面に対して、同様の処理を実施し、写真版の腐食・損傷等の位置図を作成



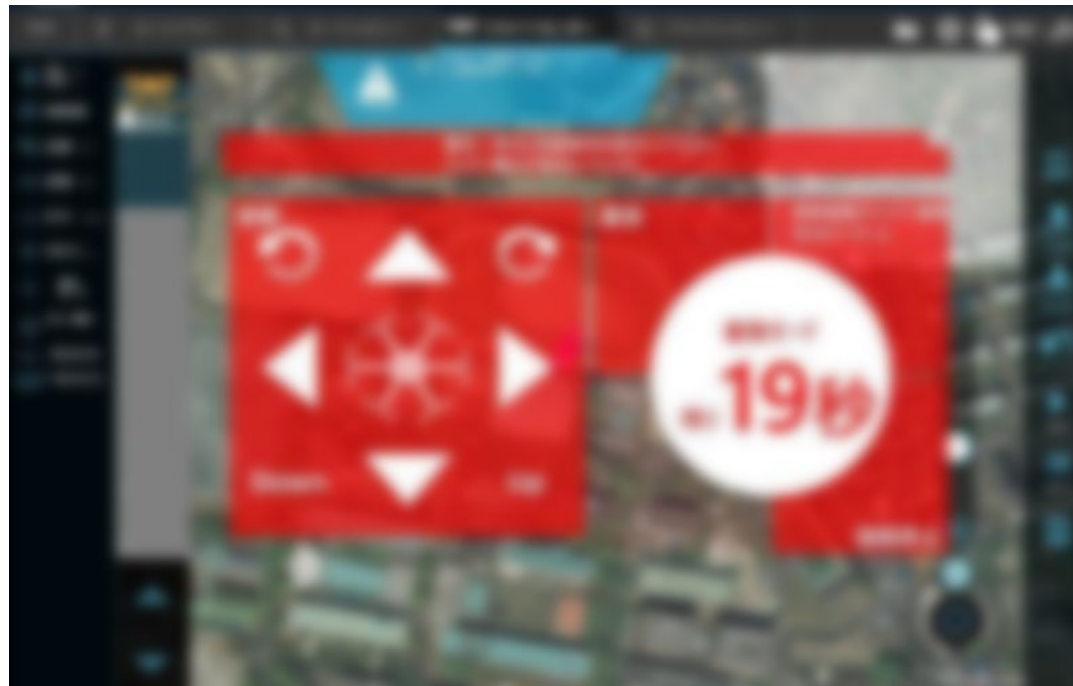
- 撮影画像を腐食、損傷位置の記録に活用することで、問題ない箇所についても撮影、点検していることを確認できる証跡とする
- 腐食・損傷等の撮影位置情報から位置をプロットし、詳細写真をリンク

今回の実証実験では、屋外貯蔵タンクに近接して飛行することを想定しており、安全対策の実施がこれまで以上に重要であるため、安全面を十分に検討した飛行計画を作成。

1. 緊急時離脱機能の搭載

緊急事態が発生した場合に、速やかにドローンを把握し、撮影エリアから離脱および、事前に設定した安全地帯へ着陸させる

対応する課題
5-①



- ドローン操作用の電波が途絶したり、バッテリーが低下したことを検知し、操縦者の画面上に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着陸地点に帰還し、着陸する 等

2. 衝突回避機能

衝突回避を支援する機能を搭載したドローンを採用し、安全を確保した上で、これまでよりも撮影対象までの距離を小さくする。

センサーにより、障害物や
撮影対象への衝突を回避



障害物とドローンの距離を正確に把握し、衝突を避ける

対応する課題
3-②、5-②

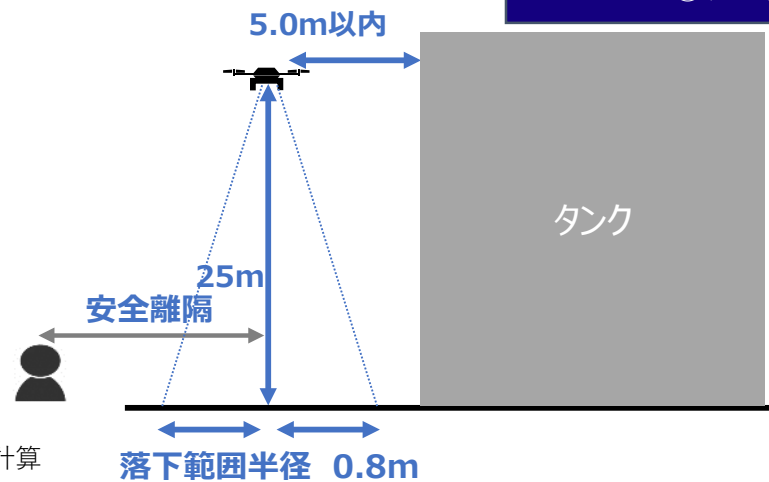
区分	名称	概要
障害物検知	Visual SLAM	カメラで取得した画像から位置特定と周囲の地図作成を行い、障害物との衝突を回避
	LiDAR SLAM	レーザースキャンで取得した情報より、位置特定と周囲の地図作成を行い、障害物との衝突を回避
	赤外線センサー	赤外光を利用し、物体に反射した光を受講することで障害物までの距離を計測
	超音波センサー	超音波を利用し、音波の跳ね返りの時間を利用して障害物までの距離を計測
	ミリ波レーダー	ミリ波帯の電波を使って対象物との距離を測定するレーダーを使用し、障害物を検知
	ビジョンセンサー	複数のカメラで撮影した画像をコンピュータで解析処理することで、障害物を検知
自己位置精度向上	RTK対応ドローン	地上に設置した「基準局」からの位置情報により、高い精度の測位を実現し、ドローンの自己位置を安定
ドローン保護	球殻付きドローン	ドローンが周囲と接触しても墜落しないように、球殻にてドローンを保護

3. 安全距離の設定

高度25mからの落下範囲は半径0.8m※1となる。マニュアル飛行の場合、通常はこの落下半径に加え、突風等も考慮して、3m程度の余裕距離を持って撮影を行うが、今回の実験ではよりタンク近接での飛行を目指し、衝突回避機能のあるドローンを利用することで、タンクからの距離5.0m以内での撮影を実施する。一方で、自律飛行では、タンクに近づくことによりGPSの電波が反射し、通常のGPS誤差※2よりも誤差が大きくなることから距離10.0mからはじめて徐々にタンクに近づけていき、可能な限りタンクに近接して撮影を行う。

※1 プラントにおけるドローン活用事例集Ver3.0を参考に落下範囲を計算

※2 GPSの受信電波が良好な状態に2m程度



マニュアル飛行の場合の安全距離

4. その他リスクアセスメント

石油コンビナート等災害防止 3 省連絡会議の「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」及び、「プラントにおけるドローン活用事例集Ver3.0」を参考に安全対策を実施。

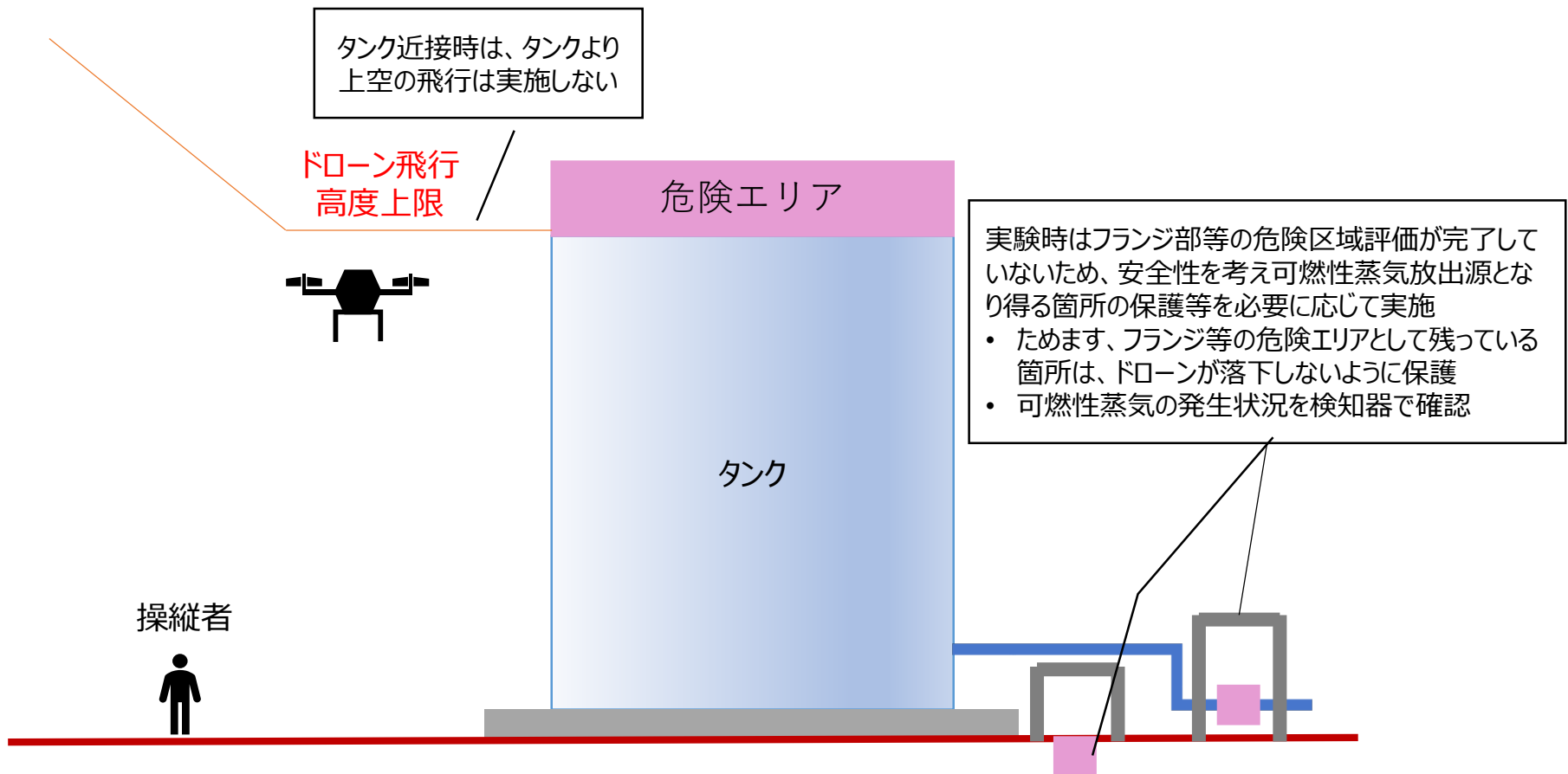
また、消防危第175号 屋外貯蔵タンク周囲の可燃性蒸気の滞留するおそれのある場所に関する運用について（令和4年8月4日）に沿って、以下の対策を追加で実施。

リスク	対策
(a) 当日実施している作業により、ドローン落下時の被害が拡大	<ul style="list-style-type: none"> 危険物の受払いや水切り作業等の特別な作業が行われておらず、貯蔵のみを行っている状態であることを確認する為に、事前に関係者への通知と当日の作業実施を有無の確認を徹底する
(b) 適切な風速	<ul style="list-style-type: none"> 可燃性のガスが滞留しないように風速2m/s以上であることを確認する 合わせて、悪天候雨天時、瞬間風速0m/sを超えた場合は、飛行中止のアクションに入る (上限風速は利用するドローン及び現場の事前確認後に決定)

5. 飛行高度の制限と危険エリアとして残る設備の保護

消防危第175号の通知を参考にタンク近接を飛行するにあたり、危険個所として残るためまず付近、配管のフランジ部などにはドローンが万が一、落下しても衝突しないように保護材（足場材などで囲いを作る）を配置する。

対応する課題
2-①、5-①



- 従来の点検でタンク付属物の死角や階段などから遠く確認が難しかった箇所に対し、ドローンによる近接での撮影が点検に有効であるかを評価
- 屋外貯蔵タンク近接での安定したドローン飛行と効率的な点検が可能であるかを評価
- ドローンで撮影した写真・映像を利用した点検記録の作成方法を評価
- 腐食・損傷の撮影に必要なカメラの性能や撮影条件を検証
- 屋外貯蔵タンク近接でドローンを飛行させる為の安全対策を評価

検証内容（想定している点検内容、対策）	評価ポイント	対象課題												
<ul style="list-style-type: none"> • 従来の人の目視点検では困難であった箇所の点検にドローンが有効であることの検証 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 従来は点検が困難だった範囲を含め、腐食などを発見、容易かつ安全にスクリーニングに活用できるかを確認 <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">【撮影予定箇所】</td> <td style="width: 50%;">【撮影予定の腐食、損傷】</td> </tr> <tr> <td>• 側板上部</td> <td>• 外面の割れ</td> </tr> <tr> <td>• ウィンドガーダーの死角</td> <td>• ひび</td> </tr> <tr> <td>• 階段部</td> <td>• スケール</td> </tr> <tr> <td>• スティフナー等の付属物</td> <td>• 錆汁</td> </tr> <tr> <td></td> <td>• 塗装材のはがれ</td> </tr> </table>	【撮影予定箇所】	【撮影予定の腐食、損傷】	• 側板上部	• 外面の割れ	• ウィンドガーダーの死角	• ひび	• 階段部	• スケール	• スティフナー等の付属物	• 錆汁		• 塗装材のはがれ	1-①
【撮影予定箇所】	【撮影予定の腐食、損傷】													
• 側板上部	• 外面の割れ													
• ウィンドガーダーの死角	• ひび													
• 階段部	• スケール													
• スティフナー等の付属物	• 錆汁													
	• 塗装材のはがれ													
<ul style="list-style-type: none"> • タンク近接での安全かつ効率的な点検を行うための飛行ルートの検証 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ドローンが計画した飛行ルートに沿って、屋外貯蔵タンク近接で安定して飛行できる距離（マニュアル飛行、自律飛行ともに）を確認 ✓ 自律飛行においては有効な写真撮影ポイント設定を確認し、効率的な写真撮影ができるかを確認 	2-①												
<ul style="list-style-type: none"> • 効率的な点検記録の作成方法の検証 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 撮影画像を利用し、点検で発見された腐食や損傷などの位置を効率的に作成できるかを確認（撮影写真からの腐食や損傷箇所の図面化） ✓ 問題ない箇所についても、点検の記録として活用できるかを確認 ✓ 点検作業者 一人一人への依存を解消できるかを確認 	2-②												

検証内容（想定している点検内容、対策）	評価ポイント	対象課題
<ul style="list-style-type: none"> タンク近接での安定した飛行を実現できるかの検証 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ タンクの近接飛行でも衝突回避機能を有することで、安定した飛行が可能であること ✓ 想定以上にタンクへ近接しないことを確認 	3-②
<ul style="list-style-type: none"> 屋外貯蔵タンクの腐食・損傷の撮影に必要なカメラの性能を確認 腐食や損傷を判断、評価する上で有効な写真の撮影方法と明るさの確認 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 目視と同等以上の写真を撮影するにあたり、必要な撮影条件（撮影データの詳細度、角度、明るさ等）を確認 ✓ 腐食や損傷箇所の撮影に必要なカメラの性能を確認 	3-① 4-①②③
<ul style="list-style-type: none"> マニュアル飛行での撮影と自律飛行での撮影による効率化の検証 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ マニュアル飛行での撮影と自律飛行での撮影では、腐食や損傷を確認に必要な、撮影画像や必要な時間などを確認 ✓ 撮影後のスクリーニング作業の負荷を確認 ✓ リアルタイム映像では、腐食や損傷箇所等の把握がどの程度可能かを確認 ✓ 構内ネットワークやディスプレイ性能等を確認 	3-③ 4-①
<ul style="list-style-type: none"> 屋外貯蔵タンク近接におけるドローンの安全な飛行方法の検証 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 衝突回避機能の有効性を確認 ✓ 事前に作成する飛行計画の内容は安全な飛行に資する内容であったかを確認 ✓ 屋外貯蔵タンクの点検においては、「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」や「プラントにおけるドローン活用事例集」の対策で過不足が無いかを確認 	5-①②
<ul style="list-style-type: none"> 既存の人による目視点検と比較し、効率化の程度を検証（参考情報） 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 既存の点検方法とドローンを活用した点検でどの程度効率化が見込めそうかを確認 	6-①

※ 腐食や損傷を撮影した写真の確認と判断の効率化の課題については、第1回の実験で目視と同等以上の写真が撮影できたのちに画像解析等の活用を検討する予定