



「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報告書」の概要

消防庁危険物保安室

1 はじめに

近年、産業分野においては新技術としてのドローンの利活用に注目が集まっており、保安分野における点検にもカメラ等を搭載したドローンの導入が進みつつある。

一方で、危険物施設においては危険区域内の防爆規制により、非防爆機器であるドローンが点検対象に対して近接飛行することができないため、従来の目視点検に替わるようなドローンの導入は進んでいなかったが、屋外貯蔵タンクにおいては、令和4年8月4日に消防危第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」が発出され、一定の条件下における危険区域の合理化が図られたため、屋外貯蔵タンクの側板等の点検におけるドローンの活用について検討を開始した。

屋外貯蔵タンクにおいて高所などのいわゆる点検困難部位の点検を行う際には、従来より地上及び廻り階段、設置した足場等から目視点検が行われており、カメラ等撮影機器を搭載したドローンを従来の目視点検に替えて屋外貯蔵タンクの点検困難部位の点検に導入することにより、地上からの目視で生じる死角対策、足場等設置コストの低減、高所危険作業の削減等の効果が期待される。

これらを踏まえ、消防庁では令和4年度に「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」を開催した。

検討結果を報告書にとりまとめ、併せて「ドローンを活用した屋外貯蔵タンクの側板等の点検に係るガイドライン」を策定したので紹介する。

2 従来の直接目視によるタンク側板等の点検とその課題

タンク側板等の点検は、定期点検又は内部開放時の点検において、主として直接目視により行われており、著しい腐食が確認された場合には、当該腐食の定量化を行い、補修の要否が判断されている。

従来の直接目視による点検は、地盤面及び階段部等から行われることが多く、この方法ではタンク側板等の全体的な状況が点検できる一方で大規模なタンクでは近接目視ができるのは低所及び階段部周辺のみであり、階段部周辺を除く高所については遠望目視とならざるを得なかった。また、地盤面からの目視ではウインドガーダー等の附属物取付け部には死角が生じることとなり、直接目視が難しい場合がある。(図1)

内部開放時の点検では、タンクに足場やゴンドラ等を設置して点検を行うこともあり、この方法であれば、階段部周辺を除く高所や附属物取付け部の死角が生じる箇所であっても近接目視による点検を行うことができる。しかしながら足場等の設置には多大な労力と費用がかかるうえ、高所作業が伴うため、墜落や転落の危険があった。(図2)

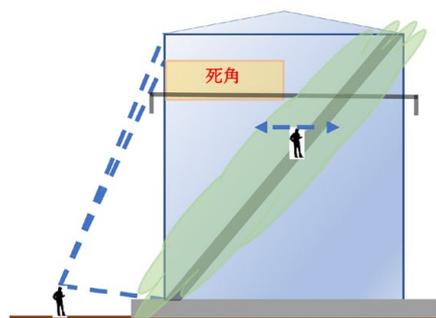


図1 従来の目視点検

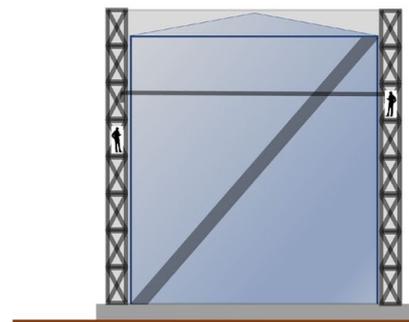


図2 足場を設置して行う点検の例

3 消防危第175号通知の発出について

令和3年度に消防庁で実施した「危険物施設におけるスマート保安等に係る調査検討会」では、タンク周囲でドローンやIoT機器の使用を可能とすることを目的として、定常時（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）における可燃性蒸気の滞留状況を測定する実証実験が行われた。この実証実験において、タンクの周囲に爆発性雰囲気となるような濃度の可燃性蒸気は滞留しないことが確認され、「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日付け消防危第175号（以下「175号通知」という。））が発出された。

175号通知により一定条件下での危険区域の合理化が図られたことから、供用中のタンクに接近させたドローン飛行が可能となった。

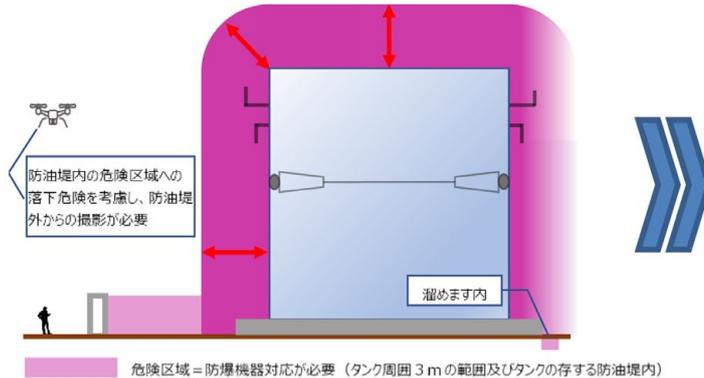


図3 175号通知発出前の危険区域とドローンの飛行位置

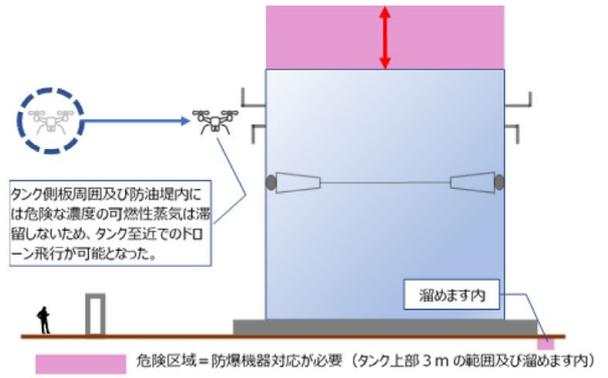


図4 175号通知発出後の危険区域とドローンの飛行位置

4 各種調査と実証実験での検証項目の整理

ドローンを活用した点検の課題を整理するため、国内におけるドローンに関係する法令の調査、ヒアリング調査、腐食の定量化技術の調査、ドローンで取得した検査データの活用・管理方法に関する調査を実施した。各種調査結果は次に示すとおり。

(1) 国内におけるドローンに関係する法令の調査結果

国内でドローンを飛行させる場合、航空法の規制対象となることから調査を実施した。

ドローンに関する技術の向上、物流等の利活用へのニーズが高まっていることから、これまでに種々の法整備が進められてきており、令和4年度に航空法が大きく改正されたことで、従来は認められていなかった「有人地帯における補助者なし目視外飛行（いわゆるレベル4飛行）」が可能となっていることを確認した。

(2) ヒアリング調査結果

令和4年8月9日から12月17日にかけて、表1に示す計19事業所等に対するヒアリング調査を実施した。なお、ドローンの活用における課題の抽出及びドローンを飛行する上での注意点や対策等の情報収集を目的としたタンク保有事業者、非破壊検査事業者及びドローン関連会社へのヒアリングし、併せて腐食の定量化技術やドローンで取得した検査データを効果的に活用・管理できる技術の情報収集についても実施した。

表1 ヒアリング対象と主たる目的

ヒアリング対象	ヒアリング数	主たる目的
タンク保有事業者	9か所	ドローンの活用における課題の抽出
(石油備蓄)	(2か所)	
(石油精製事業者)	(2か所)	
(化学工業事業者)	(5か所)	
非破壊検査事業者	3か所	ドローンを飛行させる上での注意点や対策等の情報収集
ドローン関連会社	3か所	
(ドローンメーカー)	(1か所)	
(ドローンサービス提供会社)	(2か所)	
エンジニアリング会社	2か所	腐食の定量化技術及びドローンで取得した検査データを効果的に活用・管理できる技術の情報収集
地域消防	2か所	地域間でのドローン活用に対する考え方について意見を抽出

タンク保有事業者及び非破壊検査業者並びにドローン関連会社へのヒアリング調査結果から、図5に示す各事項が課題として抽出された。

図5に記載された各課題の中で、太字で示された項目については、実証実験において課題解決のための検証を行い、細字で示された項目は、実証実験での検証対象外の項目であり、実証実験以外で別に調査等を行うこととした。



1. 既存の目視点検

- ① 定期点検や日常の巡回点検では、足場の設置を行わないため、死角が残る。
- ② 足場の設置には時間とコストがかかる。
- ③ 高所点検は作業員の労災リスクがある。



2. ソフトに関する技術

- ① 安全かつ効率的な点検を行うためのドローン飛行ルートや撮影ポイントの設定
- ② 腐食や損傷を撮影した写真の確認と判断の効率化
- ③ 経年変化の確認に活用できるデータの管理方法と効率的な点検記録



3. ハードに関する技術

- ① 正確な判断のための鮮明な写真を撮影できる機材の性能
- ② タンク近接での安定した飛行の実現
- ③ リアルタイム映像の画質安定性
- ④ 腐食や損傷発見時にサイズ、深さ、肉厚などを計測できる技術
- ⑤ 点検の効率化のための、長時間飛行の実現



4. 撮影方法

- ① 腐食や損傷を判断できる写真の撮影方法
- ② 撮影に必要なカメラ性能や角度、撮影距離などの設定
- ③ 日向日陰などの状況が点検写真の撮影に与える影響



5. 安全対策

- ① ドローンの墜落リスクに対する必要な安全対策の実施
- ② ドローンが屋外貯蔵タンク近接でも安全に飛行するための安全装備
- ③ ドローンの活用に必要なパイロットの育成



6. その他

- ① ドローン活用による既存の目視点検とのコスト比較
- ② 地域間でのドローン活用に対する考え方
- ③ 規制緩和

図5 ヒアリング調査から抽出した課題

(3) 腐食の定量化技術の調査結果

課題抽出のためのヒアリング調査と併せてドローンに搭載可能な腐食の定量化技術について情報を収集し、加えて、海外事例も含めて技術情報の調査を実施したが、ドローンに搭載可能で、かつ、現状タンクにおいて点検作業が行っている腐食の定量化を代替することが可能という条件を満たす技術は確認されなかった。

(4) ドローンで取得した検査データの活用・管理方法に関する調査結果

腐食の定量化技術の調査と同様の方法で技術情報の調査を実施した。

ドローンで取得した点検データを効果的に活用・管理できる可能性のある技術のうち、オルソ画像生成+検査データ管理技術については、実証実験(1回目)において、画像解析による腐食箇所のスクリーニング技術及び3D化+検査データ管理技術については、実証実験(2回目)において検証した。

(1)から(4)の各種調査結果から抽出した課題を下記の4項目に整理した上で、実証実験を実施した。

- ① タンク近接飛行を行う際の安全対策やドローン運用上の留意事項に関する検証
- ② 腐食・損傷の撮影条件に関する検証
- ③ ドローン飛行方法と点検の効率性に関する検証
- ④ 点検結果の記録方法に関する検証

5 実証実験(1回目)について

(1) 実証実験の目的

タンク近接での安全な飛行の実現や、人による直接目視の代替となり得る静止画の撮影方法等を検証し、ドローンを活用した点検方法の有効性を確認する。

(2) 実証実験の概要

ア 実験場所

北海道苫小牧市の2事業者

イ 使用ドローン及び使用カメラ

実証実験(1回目)で使用するドローンはACSL社製ACSL-PF2を、カメラはSony社製α7R IVを選定した。各機材の仕様は図6に示すとおり。

Specification		Description
構造	機体大きさ	全長(カブテラ範囲): 1,173 mm 高さ(カブテラ垂直): 526 mm 高さ(プロペラ): 654 mm
	重量(バッテリー込み)	9.5kg
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	20分	
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	
通信距離	1,000 m	
防塵防水性	■ IP55 ※ベイト 下無し時	
安全機能・装備	障害物検知: Lidar	■ 障害物検知: Lidar
	自動着陸: Go Home設定可能	■ 自動着陸: Go Home設定可能
静止画撮影機能	フルサイズ 6,100万画素カメラ	■ フルサイズ 6,100万画素カメラ
	4K	■ 4K
映像伝送	2.4GHz映像伝送	■ 2.4GHz映像伝送
	5.7GHz映像伝送	■ 5.7GHz映像伝送

Specification		Description
型式		レンズ交換式デジタルカメラ
使用レンズ		ソニーEマウントレンズ
撮像素子		35mmフルサイズ(35.7×23.8mm)、Exmor R CMOSセンサー
ISO感度		100-32,000 (AUTO 100-12,800 上限/下限設定可能)
F値		F3.5-5.6
手ブレ補正機能		有
有効画素数		約6,100万画素
静止画	記録画素数 [3:2] (35mmフルサイズ時)	Lサイズ: 9504 x 6336 (約6,000万画素)
		Mサイズ: 6240 x 4160 (約2,600万画素)
		Sサイズ: 4752 x 3168 (約1,500万画素)
動画	解像度	4K, FHD

出典: ソニーα7R IV (ILCE-7RM4) : <https://www.sony.jp/ichigan/products/ILCE-7RM4/>

図6 実証実験に使用するドローン及びカメラの仕様

ウ 検証項目

検証項目は、前章「4 各種調査と実証実験での検証項目の整理」において整理した①から④の4項目

(3) 実施結果

ア 安全対策と運用上の留意事項に関する検証

「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」を基本とした安全対策を講じた上で、タンク-ドローン間距離4.6mまで接近して飛行を行い、GPSマルチパス※の発生や突風等による衝突危険の有無について検証を行った。なお、タンク-ドローン間距離が5mまではGPSをONの状態として飛行、タンク-ドローン間距離が5m未満の範囲においてはGPSをOFFとした完全マニュアル飛行とした。

※ GPSマルチパス：構造物への複数回のGPS電波反射により、測位精度が低下すること。

実験においては、GPS障害や操縦系システムに問題は生じなかったものの、複雑な気流を受けてドローンが旋回挙動を起こす事象が確認された。

ドローン飛行においては、GPS障害、磁気エラー、操縦系システムの不具合、複雑な気流、突風等による予測困難な事象により安全な飛行が困難となる状況が生じることから、自動帰還機能や衝突回避機能等の設備的な安全対策を講じるとともに、十分な知識・技量を有するオペレーターの選定並びに適切な監視体制の構築を構築する必要がある。

イ 腐食・損傷の撮影条件等に関する検証

異なる距離から視力検査用ランドルト環等を撮影し、静止画の画素分解能（画像データの一画素が写している範囲の一辺の長さをいう。単位はmm/px。以下同じ。）の評価した（表2）上で、実際のサイズの異なる腐食を撮影し、画素分解能毎の見え方の違いについて確認した。検証では、撮影距離やカメラ解像度を変化させることにより画素分解能を変化させた静止画で評価し、腐食の識別可否を評価した（表3）。

表2 ランドルト環の空白部ピクセル数と距離の関係

距離	18m	15m	12m	9m	6m
ピクセル数	6 ピクセル	7 ピクセル	10 ピクセル	12 ピクセル	18 ピクセル
画素分解能	1.67mm/px	1.42mm/px	1.0mm/px	0.83mm/px	0.56mm/px
理論値※	1.95mm/px	1.63mm/px	1.3mm/px	0.98mm/px	0.65mm/px

※ 理論値は、国土地理院の「UAVを用いた公共測量マニュアル（案）」に掲載されている以下の式を用いて算出した。

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



図7 実腐食の静止画比較
(防油堤階段)

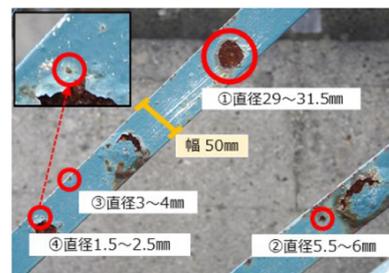


図8 検証に用いた実腐食と各腐食の寸法
(撮影距離1m(接写)、6,100万画素)

表3 撮影距離・画素分解能に応じた腐食の識別度の関係

腐食の直径	接写	撮影距離 4.6m (0.5 mm/px)	撮影距離 9m (1.0 mm/px)
① 29～31.5 mm	◎	◎	○
② 5.5～6 mm	◎	○	○
③ 3～4 mm	◎	○	×
④ 1.5～2.5 mm	○	○	×

【凡例】

- ◎：腐食の状態が確認できた
- ：腐食の存在が確認できた
- ×：腐食の存在を確認できなかった

ランドルト環及び地上での撮影による検証の結果、同一の腐食・損傷について複数の画素分解能で撮影した静止画を比較することにより、腐食・損傷の有無や詳細状況の確認には画素分解能を目安として撮影距離を決定する必要があることが示唆された。

画素分解能の見え方の違いについて確認した上で、実際にドローンを広い範囲で飛行させて屋外貯蔵タンクの腐食・損傷箇所の撮影を行い、適切な撮影条件について検証を行った。

実際の腐食・損傷箇所の撮影においては、飛行体であるドローンの特徴を最大限に活用し、撮影箇所の状況に応じたドローンの移動により、適切な位置から腐食・損傷を撮影することが重要であることが確認された。

ウ ドローン飛行方法と点検の効率性に関する検証

マニュアル飛行と自律飛行それぞれにおいて効率的な点検が可能であるかを検証し、双方のメリット・デメリットを抽出した。

● マニュアル飛行による撮影

タンク外周でマニュアル飛行を行い、ドローンから伝送されるリアルタイム動画をモニタリングし、発見された腐食・損傷部についてのみ静止画撮影を行った。腐食・損傷部一箇所当たり平均7枚程度、所要時間は2～3分程度であった。また、撮影した静止画の確認に要した時間は、1枚当たり平均2分程度であった。なお、飛行撮影時は2名で対応（ドローン監視者1名、モニター確認者1名）し、静止画確認時は1名で対応した。

【メリット】

- ・タンク-ドローン間距離、撮影角度、カメラ設定等を変更しての柔軟な撮影が可能である。
- ・GPS受信が困難な場合においても、気象条件や無線通信上の支障が無ければ飛行の継続が可能である。

【デメリット】

- ・リアルタイム動画での腐食・損傷の有無確認において見逃しが発生する可能性がある。
- ・タンク全体の網羅的な撮影を行いたい場合は、撮り漏らしが発生するおそれがあり、また操縦面においても非効率である。

【適していると考えられる点検シーン】

- ・腐食・損傷箇所が判明している箇所の詳細静止画を撮影する場合に適した飛行・撮影方法であると考えられる。

● 自律飛行による撮影

タンク外周で自律飛行を行い、タンク-ドローン間距離10mの位置から腐食の有無が分かる程度の解像度（画素分解能は約1.1mm/px）での撮影を目標とし、4秒に1枚の間隔で機械的かつ網羅的な静止画を撮影した。

直径82mのタンク外周1/4程度の範囲について、計41枚の静止画を撮影し、離陸からの所要時間は約4分程度であった。また、撮影した静止画の確認に要した時間は、1枚当たり平均2分程度であった。なお、マニュアル飛行と同じく飛行撮影時は2名で対応（ドローン監視者1名、モニター確認者1名）し、静止画確認時は1名で対応した。

【メリット】

- ・飛行ルート設定を一度行えば自動で飛行を行える。
- ・同ルートの飛行を繰り返し行うことが可能であり、タンク全体の網羅的な撮影を行うことができる。

【デメリット】

- ・マニュアル飛行のような柔軟な位置調整、設定変更が難しい。
- ・GPS受信が困難な環境では適用できない。

【適していると考えられる点検シーン】

- ・比較的周囲の開けた大型タンクにおいて、タンク側面の網羅的な撮影を行い、腐食・損傷の有無を点検する場合に適した飛行・撮影方法であると考えられる。

これらを理解し、飛行環境や目的に適切な飛行方法を選択することでドローン点検を効率的に行うことができると考えられる。

エ 点検結果の記録方法に関する検証

ドローンで撮影した静止画からタンク外観をパノラマ的に再現するオルソ画像を生成し、腐食・損傷部の状態の情報や詳細な静止画を紐付けた。



図9 実証実験において作成したオルソ画像

撮影データの活用方法を工夫することにより、視覚的にタンク全体像と個別箇所の詳細状態が分かる記録作成が可能であり、外観点検の一元的な記録・管理方法となりえるとともに、特定の作業者が現場に行かずとも複数人での確認が可能となることから点検員の属人化を防ぐことにも寄与しうることが示唆された。

(4) 実証実験（2回目）に向けた課題等

ア 保有空地やタンク間距離が狭いタンクでの飛行

実証実験（1回目）では、ドローン飛行区域に十分な空地が確保されているタンクにおいて実験を行ったが、消防法令上の保有空地はタンク規模、貯蔵物の品名に応じて設定されており、さらに、同一敷地内の隣接タンクとの間に保有すべきタンク間距離（保有空地の特例）はタンクの設置年代により異なっているため、実証実験（1回目）と同等の空地条件を有しているタンクは多くない。

より多くの事業者が保有するタンクの点検にドローンを活用できるようにするためには、タンク間離隔距離が狭いケースにおいても安全な飛行及び点検を行える事について実証する必要がある。

イ 使用機材等に応じた適切な撮影距離の決定方法

実証実験（1回目）では、使用する撮影機材とカメラ設定条件が同一ならば、撮影対象（タンク）に近づくほど、画素分解能が細かい鮮明な静止画が得られることが確認された。

一方、ドローンを活用して効果的かつ効率的に点検を行うには、点検実施前に適切な撮影距離を把握しておくことは重要であり、タンクを保有する事業者毎に異なる検出基準値（目視点検で検出すべき腐食・破損の程度）や撮影機材等に対応した適切な撮影距離の決定方法について検証する。

ウ リアルタイム動画の有効性

ドローンから地上へ無線伝送されるリアルタイム動画で腐食・損傷の有無が確認可能であれば、腐食・損傷箇所の詳細な静止画像を効率的に取得することができることから、実証実験（2回目）ではリアルタイム動画の有効性について検証する。

エ 撮影画像の分析にかかる工数

実証実験（1回目）における検証の中で、静止画一枚当たりの分析にかかる工数はそれほど多くの時間はかからない

ことが確認できたが、タンク全体を撮影した場合は、数百枚に及び静止画の確認作業が発生するため、多くの工数が
必要であると考えられる。

実証実験(2回目)においては、撮影された大量の静止画をAI(人工知能システム)によって解析することで、多くの
工数をかけずに腐食・損傷箇所の検出処理が可能であるか検証する。

オ 撮影結果の可視化

実証実験(1回目)においては、タンク側板の静止画をオルソ化し、パノラマ的なオルソ画像を生成し、当該画像にて
点検結果を記録・管理できることを確認した。

実証実験(2回目)においては、タンク全体を撮影データから三次元モデルを構築、オルソ画像と同様に腐食・損傷
箇所をマッピングし、より直感的な腐食・損傷箇所の記録・管理方法が可能かどうかについて検証する。

6 実証実験(2回目)について

(1) 実証実験の目的

本実証実験では、事業者ヒアリングで抽出した課題を解決するために、実証実験(1回目)を踏まえた課題について実
証することを目的とする。また、将来的に屋外貯蔵タンクの効果的な予防保全に活用できる可能性のある技術について
検証する。

(2) 実証実験の概要

ア 実験場所

千葉県千葉市の事業者

イ 使用ドローン及び使用カメラ

実証実験(2回目)では、カメラ一体型のSkydio2+を選定した。

同機は、小型であり、また、安全機能として搭載されたVisual SLAMにより全方位への障害物検知が可能で、本実
証実験で求められる狭所での撮影や、複雑な構造物が多い環境でも撮影を行うことができる。ドローンの仕様は図10
に示すとおり。

 <p>● 実験飛行本機1機+予備1機 ● 航空法に基づく機体登録：済</p>	<p>機体性能</p> <ul style="list-style-type: none"> ● カメラ一体型 ● 大きさ(アンテナアップ) : 229(l) x 274(w) x 126(h) mm ● 大きさ(アンテナダウン) : 229(l) x 274(w) x 76(h) mm ● 重量(バッテリー含む) : 800 g ● 最大飛行速度(海面、無風) : 約16m/s (36mph) ● 最大抵抗風速 : 約11m/s (25mph) ● 最大飛行時間 : 27分 ● 動作温度範囲 : -5℃~40℃ ● バッテリー : リチウムイオンポリマー
	<p>カメラ性能</p> <ul style="list-style-type: none"> ● イメージセンサー : Sony IMX577 1/2.3" 12.3MP CMOS ● 静止画 : 1,200万画素 ● 動画 : 4K ● F値 : f/2.8 ● 焦点距離 : 3.6 mm ● シャッタースピード : 1~1/1920 s ● ISO感度 : 100-3200 ● 画素寸法(4m) : 約1.7 mm/pix
	<p>安全機能</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 安全機能 : 全方位への障害物検知機能(Visual SLAM) ● プロペラガード : 取付不可 ● 障害物回避 : Visual SLAM (全方向)

図10 実証実験に使用するドローンの仕様

ウ 本実験における検証項目は、5(4)で整理した以下の5項目

- ① 保有空地やタンク間距離が狭いタンクでの飛行に関する検証
- ② 使用機材等に応じた適切な撮影距離の決定方法に関する検証
- ③ リアルタイム動画の有効性に関する検証
- ④ AI画像解析を用いたタンクの腐食等検出可能性に関する検証
- ⑤ タンクの3Dモデルの生成と点検記録作成に関する検証

(3) 実施結果

ア 保有空地やタンク間距離が狭いタンクでの飛行に関する検証

突風やネットワーク不良により不安定な飛行となった場合を想定し、Visual SLAMIによる全方位への障害物検知機能を備えた小型のドローン機体をタンク間距離が7.7mとなる場所で飛行させ、安定した飛行が可能であるかどうかを検証した。タンク-ドローン間距離は約3mとした。

想定された突風による影響、電波・通信環境の乱れによる影響等は生じず、安定した飛行を行うことができた。



図11 タンク間距離が狭いタンクの外周を飛行させている様子

タンク間距離が狭くタンクが密集しているような箇所ではドローンを飛行させる場合は、タンクへの接触の危険度が高まるため、実証実験（1回目）における安全対策のほか、比較的小型のドローン機体を選定することや、機体に全方位の障害物検知機能（Visual SLAMやLiDAR等）を装備しておくことが望ましい。ただし、小型機体を選定した場合は、風の影響を受けやすいこともあるため、機体諸元・性能、操縦者の技量、当日の気象条件等を総合的に判断して機体選定や監視体制の決定を行う必要がある。

イ 使用機材等に応じた適切な撮影距離の決定方法に関する検証

ドローンを活用した点検を実施する際は、事業者自らが設定する検出基準等に対して、使用する機材で撮影した場合に腐食・損傷がどのように画像に投影されるかを予め知っておくことは、点検作業の手戻りを防ぐためにも重要である。このことから、本実証実験では、単純な幾何学模様と複雑なQRコードを用いた使用機材等に応じた適切な撮影距離の決定方法について検証した。

● 幾何学模様

○仕様：直線及び点模様で構成し、5つの異なる幅、直径の模様を一枚のコピー用紙に表示したもの。寸法は一段階下に写る毎に約0.8倍とした。（幅、直径はきりの良い値に丸め、mmオーダーとcmオーダーを用意した。）

○判断基準：検出基準値より一段階下の直線及び点模様が識別できること。

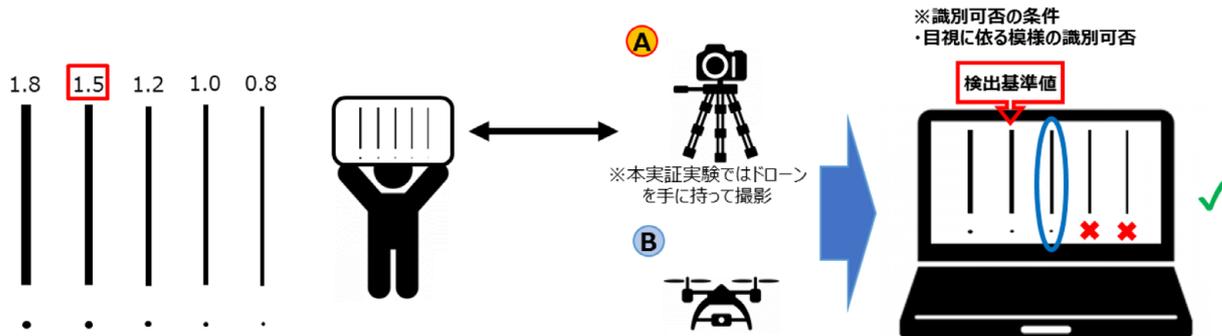


図12 幾何学模様の仕様と実験方法

● QRコード

○仕様：1セルのサイズを調整したQRコードを5つの異なる寸法で作成し、一枚のコピー用紙に表示したもの。寸法は一段階下に写る毎に約0.8倍とした。（1セルのサイズはきりの良い値に丸め、mmオーダーとcmオーダーを用意した。）

○判断基準：セルの大きさを検出基準値未満の寸法に調整したQRコードが機械読み取りできること。

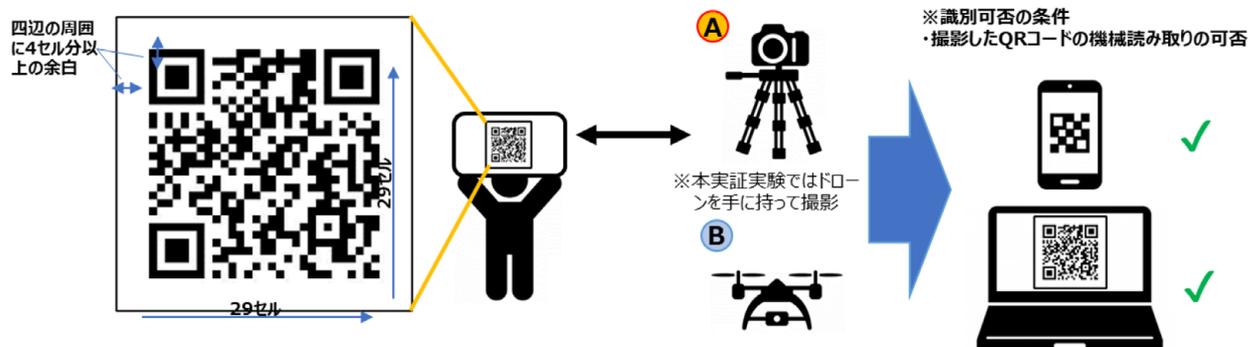


図13 QRコードの仕様と実験方法

両者の実験結果を比較し、より理論式に近い値が得られ、判断も容易であることから、単純な幾何学模様を用いた方法を提案することとした。ただし、この方法は定性的な判断手法であり、検証作業により判断にばらつきが出ることに注意して実施する必要がある。

ウ リアルタイム動画の有効性に関する検証

事前の直接目視により実験タンク側板に生じている腐食箇所を6箇所（表4中、#①～⑥）ピックアップし、寸法・位置を記録した。実験においては、当該箇所を含むタンク側板外周4分の1程度をタンク-ドローン間距離約3mにてドローンを飛行させ、当該腐食箇所を知らない被験者がドローンから送信されるリアルタイム動画※を見て、腐食の検出が可能かどうかについて検証した。また、当該リアルタイム動画を4Kで録画（以下「4K動画」という。）し、ドローン飛行の後で被験者が4K動画を視聴した場合においても同様の検証を実施した。

※リアルタイム動画の解像度はHD（720p）、圧縮方式はH.264形式、伝送容量は0.5～2.1Mbps

リアルタイム動画においては、ある程度の面積を有する目立つ腐食は容易に検出可能であった一方で、以下の腐食については検出することができなかった。

- 5mm程度の腐食（#①～③、⑤）
- 単一の状態で存在する10mm以下の腐食（④）
- 10mm前後の腐食が群をなしている腐食で色の薄い腐食（#⑬、⑮）
- 単一の状態で存在する30mm前後の腐食で色の薄い腐食（#⑯）

その他、事前にピックアップしていなかった腐食箇所を検出することができた。

4K動画においては、リアルタイム動画では検出できなかった色の薄い腐食も検出することができたが、検出できた腐食の大きさだけに着目するとリアルタイム動画とは差が生じない結果となった。

表4 リアルタイム動画、4K動画毎の腐食箇所確認結果

#	事前確認※1	種別	形状	単一の腐食/ 損傷の寸法※2	薄 い	錆 汁	地上か らの高さ	リアルタイム 動画	4K 動画
①	○	錆	点状	5mm			3.0m	×	×
②	○	錆	点状	5mm			2.5m	×	×
③	○	錆	点状	5mm			2.5m	×	×
④	○	錆	点状	10mm以下			3.5m	×	×
⑤	○	錆	点状	5mm			2.5m	×	×
⑥	○	錆	点状	15mm	●		2.0m	○	○
⑦	-	錆	点状×2	10mm以下			3.5m	○	○
⑧	-	錆	点状×3	10mm以下			4.0m	○	○
⑨	-	錆	点状	20mm前後			4.5m	○	○
⑩	-	錆	点状	20mm前後	●		6.5m	○	○
⑪	-	錆	点状	20mm前後	●		7.0m	○	○
⑫	-	錆	点状×多数(広範)	50mm前後	●		6.5m	○	○
⑬	-	錆	点状×多数(広範)	10mm前後	●		6.0m	×	○
⑭	-	錆	点状×多数(広範)	30mm前後	●		7.0m	○	○
⑮	-	錆	点状×多数(広範)	10mm前後	●		7.0m	×	○
⑯	-	錆	点状	30mm前後	●		7.0m	×	○

A リアルタイム動画、4K動画の両方で
発見できなかった腐食

10mm以下の単独腐食は、リアルタイム動画でも
4K動画でも検出することができなかった。

B リアルタイム動画で発見できた腐食

リアルタイム動画、4K動画では、15mm以上の単
独腐食や個々の腐食が10mm以下であってもそれ
らが群を成している腐食は検出することができた。

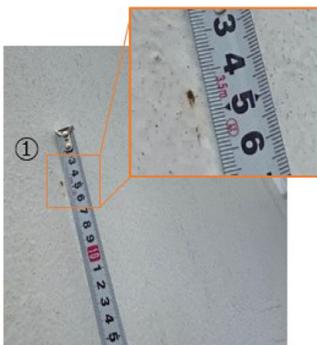
C リアルタイム動画で見逃したが4K動画で
は発見した腐食

色の薄い腐食は、リアルタイム動画では見逃した
が、4K動画では検出することができた。

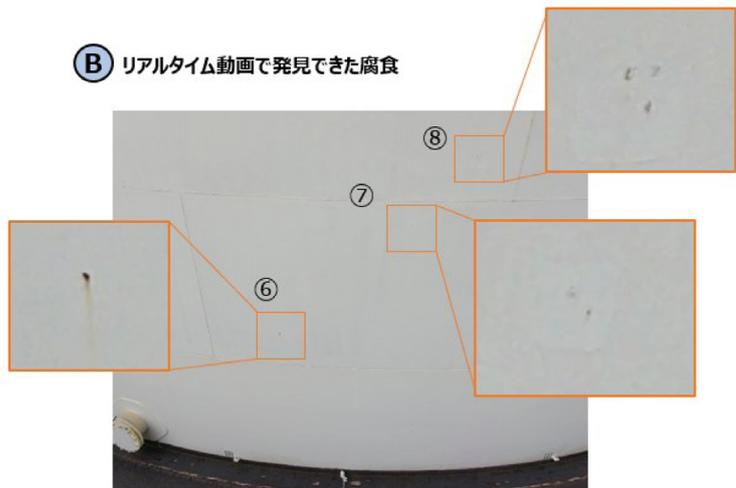
※1 事前に直接目視にて抽出を行っていた腐食/損傷。ただし、腐食の寸法の計測が概ね可能となる一定の範囲内での確認を行った。

※2 高所の腐食は計測不可であったため、目視による側板の高さや他の腐食からの相対値
なお、複数の点腐食が群をなしている腐食場合、個々の点腐食の最大寸法を表す。

A リアルタイム動画、4K動画の両方で
発見できなかった腐食



B リアルタイム動画で発見できた腐食



C リアルタイム動画で見逃したが
4K動画では発見した腐食

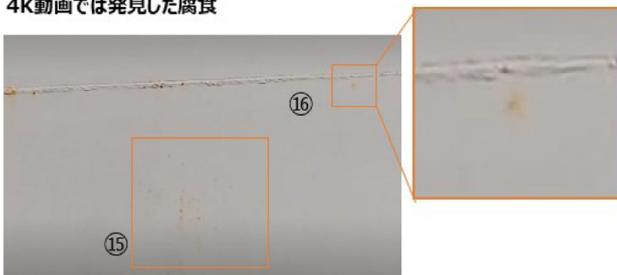


図14 見逃しが生じた腐食箇所(表2中A,B,C各点に対応)

検出した腐食箇所をマッピングしたものを図15に示す。リアルタイム動画での検証時には、タンクの溶接線や附属物を頼りにおおよその腐食位置の記録を行うことはできたが、誤って実際の位置とは異なる位置へ記録を行っていたケースも見受けられた。

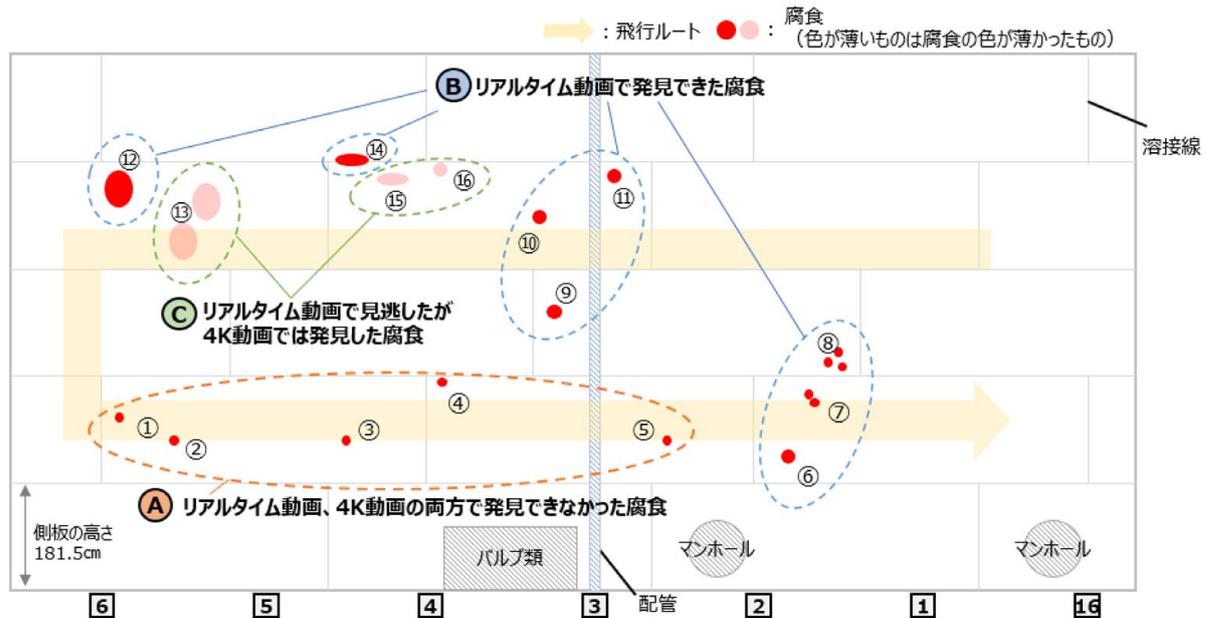


図15 タンク側板展開図への腐食箇所のマッピング

本実証実験においてリアルタイム動画で見逃した腐食は、いずれも小さい又は色味の薄い腐食であり、リアルタイム動画による点検を行ったからといって、重大な見落としが頻発するとは考えにくい。リアルタイム動画による点検は、腐食・損傷を発見した場合にその場で詳細静止画の撮影をできることが大きなメリットであり、既往の目視点検より効果的かつ効率的な点検が実現可能と考える。

ただし、検出した腐食・損傷箇所の点検の証跡として静止画撮影を行うとともに、リアルタイム動画での見落としに備え、4Kなどの高精細動画で同時録画しておき、事後に当該動画を活用したバックチェックを行うことが望まれる。

また、リアルタイム動画の確認は屋外で行われることが想定されることから、屋外使用に適したディスプレイ、又は附属品を活用することが望まれる。

エ AI画像解析を用いたタンクの腐食等検出可能性に関する検証

大量の静止画確認には多くの工数を要することが想定されることから、将来的な工数削減に向けて、ドローンで撮影したタンク側板の静止画を既存のAI画像解析モデル（配管腐食検出用解析モデル）を用いて腐食検出が可能かどうかについて検証した。

結果として、タンク側板に生じた腐食のうち、塗膜が剥落した腐食の一部については検出されたものの、目視でははっきりと分かるほどの腐食であっても検出できないものがあった。（図16）

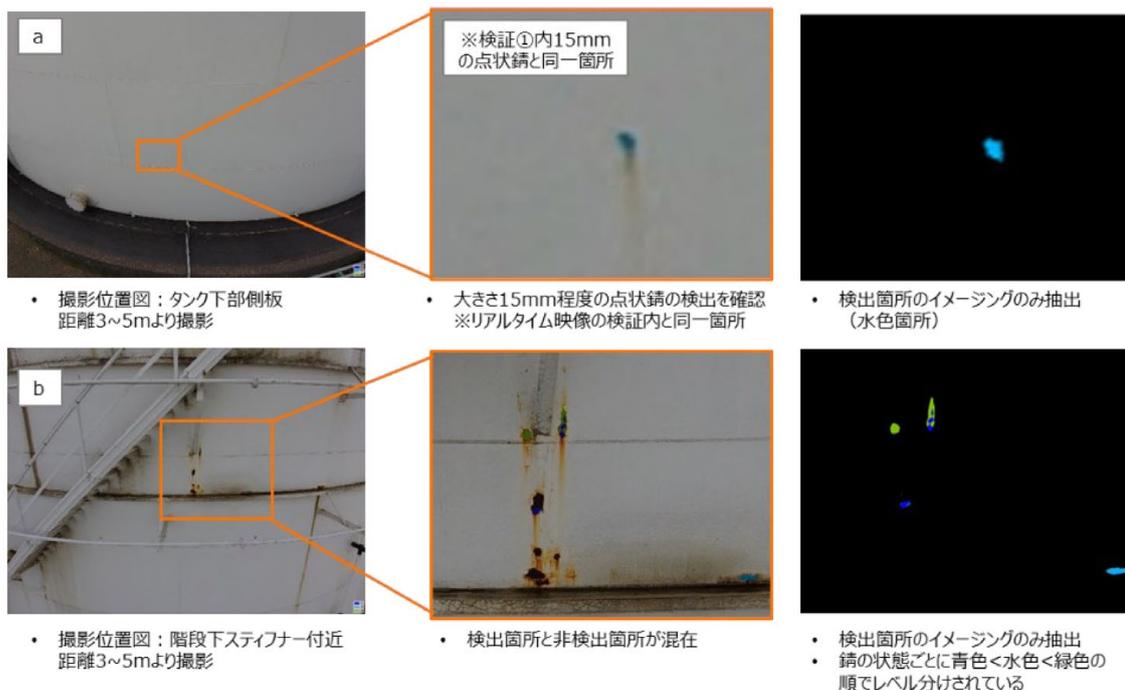


図16 AI (配管腐食検出解析モデル) による解析結果

また、塗膜割れの箇所などから錆汁が滲出しているような箇所、塗膜の剥落を伴わない腐食進行箇所についても検出ができなかった。(実証実験(1回目)の「腐食・損傷の撮影条件等に関する検証」の際に撮影した静止画を使用)

現段階において、既存のAIモデルをタンク点検にそのまま導入することはできないが、将来的にタンク腐食の検出用にAIモデルが構築され、画像解析により腐食箇所の状態等を定量的に把握することができるようになれば、ドローン点検と組み合わせることで、より効率的なタンク外観点検、計画的な予防保全が可能となるといったことが期待される。

オ タンクの3Dモデルの生成と点検記録作成に関する検証

実証実験(1回目)では、タンク外観静止画から平面的なオルソ画像を生成したが、本実証実験では立体的な3Dモデルを作成し、オルソ画像と同様に腐食・損傷箇所をマッピングし、より直感的な腐食・損傷箇所の記録が可能かどうかについて検証した。

生成した3Dモデルを図17に示す。附属物が無いなど、特徴点の少ない箇所では曲面が上手く再現できず凹んだ形状に見える部分もあったが、腐食・損傷の詳細静止画や情報をプロットして管理するのに十分な3Dモデルが生成できた。

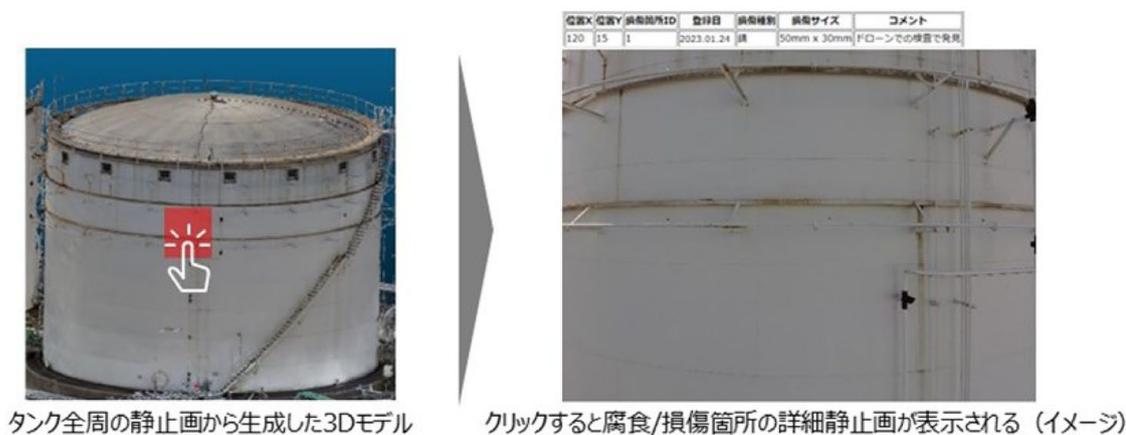


図17 実験タンクの3Dモデル

6 調査検討結果

実証実験などを踏まえ、ドローンを活用した効果的なタンク外観点検を行うための方策について検討を行い、以下の結論が得られた。

- (1) ドローンをタンクに接近させて飛行を行うためには、適切な機体選定や安全装備を備える等のハード面での対策のほか、電波障害や突風に備えた監視体制の構築等、ソフト面での対策を行う必要があること。
- (2) タンクの腐食・損傷箇所の撮影時には、静止画及び動画撮影時に生じる不具合の解消又は軽減対策を講じる必要があること。

なお、事業者が点検を行う場合に自らの設定する検出基準値や使用撮影機材に応じて適切な撮影距離を決定するための事前検証を行うことが望ましい。

- (3) ドローンで撮影したタンク静止画からオルソ画像や3Dモデルを生成し、当該オルソ画像等に詳細静止画等を紐付けることにより、タンク外観点検の結果を視覚的かつ一元的に記録することが可能であり、従来の紙の図面への記録に替わる点検記録方法となり得ること。

(1) ハード面及びソフト面の安全対策

○ハード面の安全対策（機体選定及び安全装備）

- ア 非常時の自動帰還機能の搭載
- イ センサー等により衝突を防止する機能の装備
- ウ 飛行環境に応じた耐風性能
- エ 操縦系統、映像伝送系統の無線設備はそれぞれ複数の周波数帯が使用可能であることが望ましい
- オ タンク間を飛行させる場合におけるドローン運用事業者の推奨する機体の大きさ
- カ 万一の衝突に備えたプロペラガードの装備
※プロペラガードを装備することでドローンの飛行が不安定となる環境の場合は除く

○ソフト面の安全対策（監視体制等）

- ア 飛行前、事業所内の関係部署に飛行計画の周知と調整
- イ 令和4年8月4日付消防危第175号通知1の(1)及び(2)の要件に適合していることを常時監視し、同通知2の安全対策を講じる
- ウ 強風や突風に対する監視体制の構築
- エ 同一タンクヤードにタンクが複数存在する場合は、監視員の増員、複数発着場所の設定、ドローンを見失わない監視体制（航空法に従った目視外飛行時は除く。）
- オ 自立飛行で不測の事態が生じた場合には、マニュアル操縦等への切り替えで対応
- カ バッテリーは残量に余裕を持って交換



図5 衝突回避機能作動時の例

(2) 静止画及び動画撮影時の留意事項

○撮影距離決定のための事前検証

使用するカメラを用いて事業者が自ら定める平面的な検出基準値以上の寸法を持つ腐食等を確実に検出するための事前検証を行い撮影距離を決定



図6 事前検証の概念図

○静止画撮影時の留意事項

- ア 適切な位置にドローンを移動させての撮影
- イ 静止画の焦点が合わない等の不具合が生じることが想定される場合には、カメラ設定を適切に行うことにより不具合の解消または軽減を図る

○リアルタイム動画で点検を行う場合の留意事項

- ア 伝送されるリアルタイム動画の画素数に対応した無線通信設備、ディスプレイを用いる
- イ リアルタイム動画で腐食を検出した場合は、当該場所の静止画撮影をするともに位置情報を記録
- ウ カメラの録画機能により事後検証可能な記録を残す

(3) 点検結果の記録方法

タンク静止画から作成したタンク全体の3Dモデルやオルソ画像等に腐食等の詳細静止画や位置情報を紐付け、タンク外観点検の結果を視覚的かつ一元的に記録することが可能

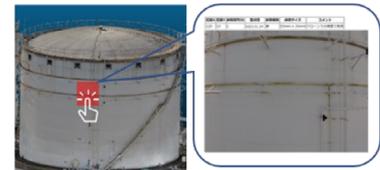


図7 SfMによる3D化+点検記録管理

※令和5年3月29日付け報道発表資料より抜粋

7 ガイドラインの策定

調査検討結果からタンク供用中の定期点検又は開放時の点検でタンク外面を点検するためにカメラ等を搭載したドローンを用いて従来の目視点検に代替する点検を行う際に、タンク所有者等が自主保安を推進するために参考となる指針として「ドローンを活用した屋外貯蔵タンクの側板等の点検に係るガイドライン」を策定した。

8 その他

「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報告書」及び「ドローンを活用した屋外貯蔵タンクの側板等の点検に係るガイドライン」については、消防庁ホームページから閲覧可能。

「消防庁トップページ」→「審議会・検討会等」→「検討会等」→「令和4年度開催の検討会等」→「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」

(https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/post-120.html)