

# 屋外貯蔵タンクの効果的な予防保全に向けた ドローン活用の第2回実証実験結果



# 1. 第2回実証実験の概要

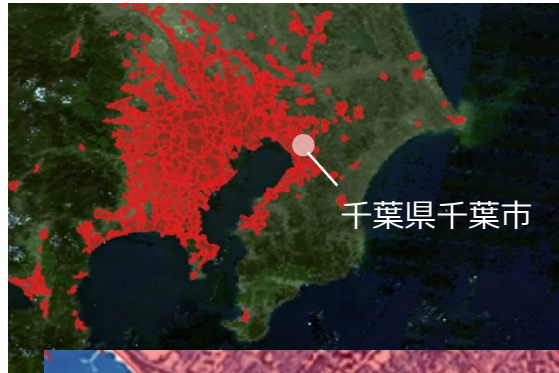
第2回実証実験では、第1回実証実験で検証できていない課題、第1回実証実験結果から見えた課題解決のための検証及び将来的に屋外貯蔵タンクの効果的な予防保全に活用できる可能性のある技術について検証を行った。


第2回 実証実験 検証内容	第1回実証実験 結果から見えた 新たな課題解決 のための検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ タンク間の離隔距離が狭いタンクにおいて問題なく飛行できるか</li> <li>■ 点検に使用するドローンやカメラ等の機材は事業者ごとに異なっており、一律に鮮明な画像等が得られる条件を示すのは難しい</li> </ul>
		<p><b>検証項目 1 : タンク間距離が狭いタンクにおけるドローン飛行に関する検証</b></p> <p><b>検証項目 2 : 適切な撮影距離の決定方法に関する検証</b></p>
	第1回実証実験 で検証できてい ない課題	<p><b>検証項目 3 : リアルタイム動画の有効性に関する検証</b></p>
	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 新技術を活用した屋外貯蔵タンクの点検方法の検証</li> <li>■ 新技術を活用したデータ管理や効率的な点検記録方法の検証</li> </ul>
		<p><b>検証項目 4 : AI画像解析モデルを用いた屋外貯蔵タンク側板の腐食等の検出</b></p> <p><b>検証項目 5 : タンクの3Dモデルを活用した点検記録の効率化</b></p>
スケジュール等		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 令和5年1月24日に千葉県千葉市の特定タンク保有事業所にて実施</li> </ul>

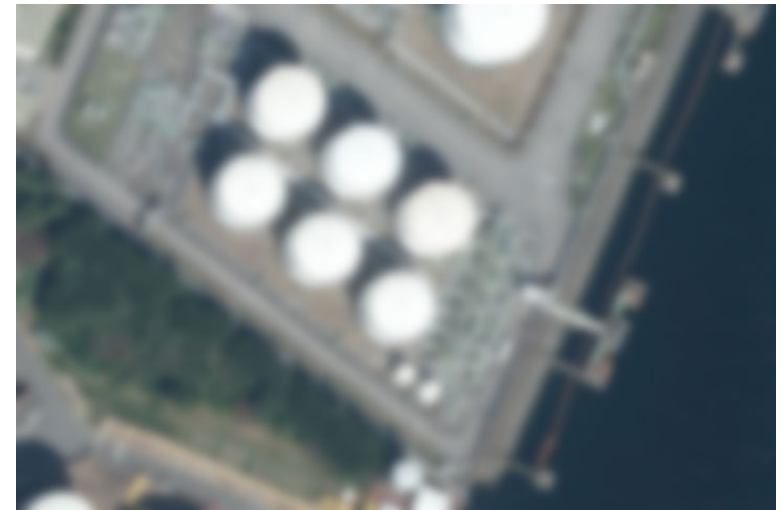


## 2.実証実験実施場所

千葉市のタンク保有事業者にご協力いただき、第2回目の実証実験を実施した。  
なお、本実証実験で対象としたタンクは、現在、運用を休止している。



 : 人口集中地区（令和2年総務省統計局）



下記に示す仕様のカメラ一体型ドローンを使用した。

#### Skydio 2+



- 実験飛行本機1機 + 予備1機
- 航空法に基づく機体登録：済

#### 機体性能

- 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

#### カメラ性能

- イメージセンサ：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

#### 安全機能

- 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）

出典：Skydio - Skydio 2+ : <https://www.skydio.com/skydio-2-plus>

# 4. 実験結果 - 検証項目 1

## 検証内容

タンク間距離が狭いタンクでのドローン飛行に関する検証

## 評価ポイント

- タンク間の距離が短い場合における飛行経路の設定方法及びドローンの飛行に及ぼす影響とその対策方法を確認
- タンク間距離が狭いタンクにおける飛行に適したドローンの機体、備えておくべき機能を確認

## 実験方法

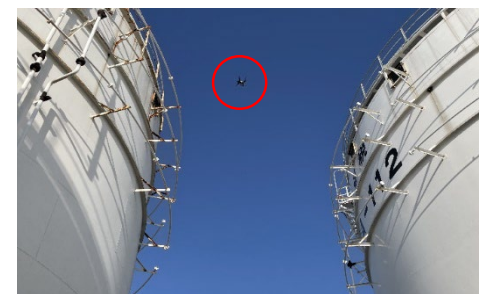
- 事前に飛行場所において電波が問題無く受信できる環境であることを確認した。今回の検証において取得したい品質の画像が取得できる撮影距離等を考慮し、3m程度の離隔距離を取って飛行を行った。
- 狭所において想定されるビル風のような突風や電波干渉により飛行が不安定となった場合を想定し、Visual SLAMによる全方位への障害物検知機能を備えた小型のドローン機体（最大寸法274mm）を選定。当該ドローンをタンク間距離が7.7mとなる場所で飛行させ、安定した飛行が可能かどうかを検証した。
- 周囲の状況からドローンの視認性を確保する必要があると判断し、離着陸場所を90°毎に計4箇所設定して、順に飛行を行った。

## 実験結果

- 今回の実験においては、想定していたビル風のような突風や電波干渉による飛行の乱れは無く、安定した飛行を行うことができた。
- また、離着陸場所を複数設定したことにより、ドローンを見失うことはなかった。

## その他

- 今回の実験で委託をしたドローン運用事業者は、通過予定の隙間の約5～10分の1以下の機体サイズであることを機体選定のおおよその目安として設定しているとのことだが、他のドローンベンダーのドローン選定方法を調査するためヒアリングを行った。
- 複数のドローン運用事業者へ狭所飛行におけるドローン機体や機能の選定に係る基準を確認したが、ドローンの飛行場所における環境や想定されるリスクを確認し、それぞれの条件に応じドローン機体や機能を柔軟に選択しているとのことであった。  
(技術情報などのノウハウに係るため、明確な選定の基準を示すことは難しいとのこと。)



ドローンがタンク間を飛行している様子

## 考察

- 狭所における飛行の場合、撮影対象やその他の障害物へ接近した飛行を要するため、比較的小型のドローン機体を選定することが望ましい。ただし、小型の機体とすることは、風の影響を受けやすくなるという側面もあることから、事前に飛行場所の環境や想定されるリスク、飛行当日の気象条件等を確認した上で、条件に適したドローン機体の選択を行う必要がある。
- 全方位への障害物検知機能（Visual SLAMや赤外線レーザー等）を備えておくことが望ましい。また、操縦の際には撮影対象の反対側に位置する障害物への接近にも注意を払うことや、突風等による落下のリスクを考慮した飛行ルートの設定が必要となる。
- 電波干渉によるリスクを最小化させるため、操縦システムと画像伝送システムそれぞれにおいて、複数の周波数帯が選択できる機体を選定することが有効である。
- タンクが密集している箇所では機体がタンク等の陰に隠れやすいことから、離着陸場所を複数設定する、監視要員を増員するなどの安全上の対応が必要である。

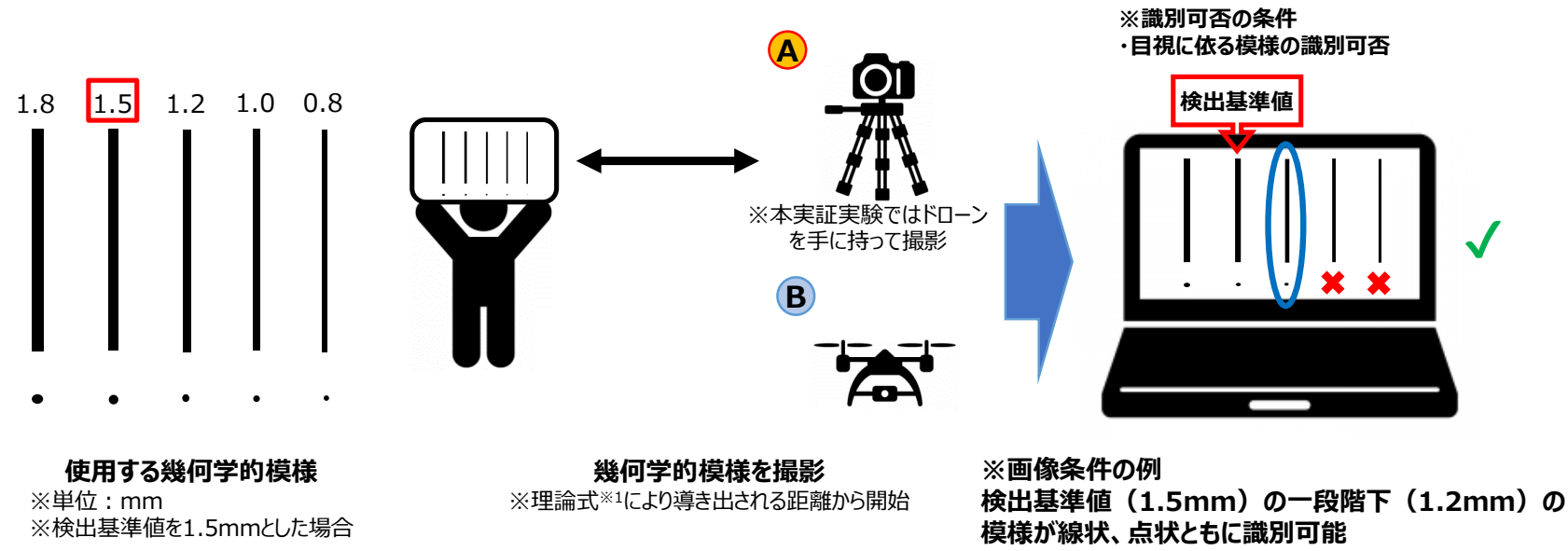


# 4. 実験結果 - 検証項目 2

検証内容	適切な撮影距離の決定方法に関する検証
評価ポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>線状・点状の幾何学的模様を用いて、目視点検の代替となり得る画像取得が可能な距離を確認</li> </ul>

- 腐食/損傷の検出基準値に対し、理論式<sup>※1</sup>により撮影距離の目安を算出する。
- 人がドローンを手に持った状態で、1で算出した最短撮影距離から遠くに離れていくように複数距離で線状・点状の線幾何学的模様のパネルを撮影する。(A)
- 2と同様にドローンをホバリングさせた状態で、1で算出した最短撮影距離から遠くに離れていくように複数距離で線状・点状の線幾何学的模様のパネルを撮影する。(B)
- 撮影した静止画の線状・点状の幾何学模様をディスプレイで拡大して投影し、検出基準値未滿の線状及び点状の模様がいずれも目視で識別可能であるか否かを確認する。  
(条件を満たした距離以下の距離を目視点検の代替となりうる画像取得が可能な距離として判断する。)

### 実験方法①



実験方法のイメージ

※1：前項※1と同様の式



# 4. 実験結果 - 検証項目 2

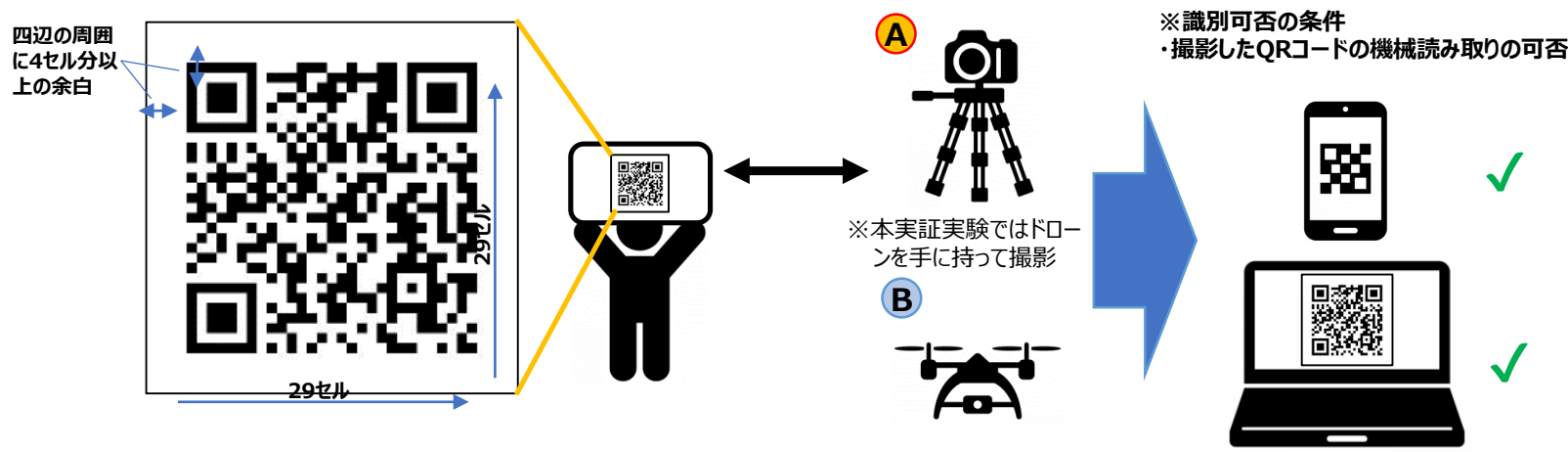
## 検証内容

適切な撮影距離の決定方法に関する検証

## 評価ポイント

- QRコードを用いて、目視点検の代替となり得る画像取得が可能な距離を確認

- 腐食/損傷の検出基準値に対し、理論式<sup>※1</sup>により撮影距離の目安を算出する。
- 人がドローンを手に持った状態で、1で算出した最短撮影距離から遠くに離れていくように複数距離でQRコードのパネルを撮影する。(A)
- 2と同様にドローンをホバリングさせた状態で、1で算出した最短撮影距離から遠くに離れていくように複数距離でQRコードのパネルを撮影する。(B)
- 撮影した静止画のQRコードをディスプレイで拡大して投影し、スマートフォン等で読み取りを行った際に撮影したQRコードの読み取り可否を確認する。  
(条件を満たした距離以下の距離を目視点検の代替となりうる画像取得が可能な距離として判断する。)



## 実験方法②

使用したQRコード

※上記例はバージョン3のため縦横29セル

1セルの大きさを調整したQRコードを撮影

※理論式により導き出される撮影距離の目安から開始

## 実験方法のイメージ

※1 撮影距離決定のための計算式

撮影距離(m) = 撮影対象の画素寸法(m) ÷ 使用するデジタルカメラの1画素のサイズ(m)※ × 焦点距離 (m)

※使用するデジタルカメラの1画素のサイズ = √(センサ面積(m<sup>2</sup>) ÷ 総画素数(pixel))

出典：国土地理院 UAV を用いた公共測量マニュアル (案)

## 線状・点状の幾何学模様を用いた検証

### 【撮影条件】

#### 手持ち時

- 天候：小雨
- 照度：8,120lux

#### ホバリング時

- 天候：晴れ
- 照度：23,040lux（日向）
- 風速：0.5m/s

✓：識別可、✗：識別不可



撮影した静止画の一例：手持ちで距離4.2mより撮影した線及び点  
※数値の単位はmm

検出基準ごとの条件を満足した距離

	No.	検出基準		識別最小模様の幅又は直径 (mm)	A 条件を満足した距離 (m) (手持ち)	B 条件を満足した距離 (m) (ホバリング)
		腐食/損傷の検出基準値 (mm)	理論式による距離 (m)			
基準をmm単位に設定	1	1.8	4.2	1.5	6.0	6.0
	2	1.5	3.5	1.2	5.6	6.0
	3	1.2	2.8	1.0	4.2	4.6
	4	1.0	2.3	0.8	3.5	4.2
基準をcm単位に設定	5	18	42	15	42	42
	6	15	35	12	39	39
	7	12	28	10	35	33
	8	10	23	8.0	28	23

### 実験結果①

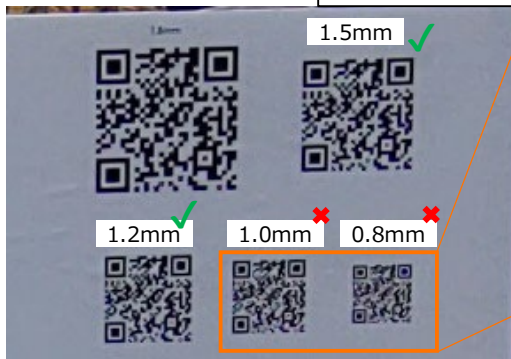
- 線及び点のどちらも識別可能な撮影距離はいずれも理論式から導かれる撮影距離の目安以上の距離であった。
- ホバリングと手持ちでは条件を満足した距離に大きな差は見られなかった。



## 4. 実験結果 - 検証項目 2

### QRコードを用いた検証

- ✓ : 読み取り可
- ✗ : 読み取り不可



静止画を拡大して観察すると、セルの白黒はだまかに識別可能だが、各セルがぼやけている

#### 【撮影条件】

##### 手持ち時

- 天候：小雨
- 照度：8,120lux

##### ホバリング時

- 天候：晴れ
- 照度：23,040lux (日向)
- 風速：0.5m/s

撮影静止画の一例：手持ちで距離1.9mより撮影

### 検出基準ごとの条件を満足した距離

	No.	検出基準		1セルの大きさ (mm)	一辺の長さ (mm)	A 条件を満足した距離 (m) (手持ち)	B 条件を満足した距離 (m) (ホバリング)
		腐食/損傷の検出基準値 (mm)	理論式による距離 (m)				
検出基準が mm単位	1	1.8	4.2	1.5	55.5	2.3	2.3
	2	1.5	3.5	1.2	44.4	1.9	1.9
	3	1.2	2.8	1.0	37.0	未検出	未検出
	4	1.0	2.3	0.8	29.6	未検出	未検出
検出基準が cm単位	5	18	42	15	555	23	23
	6	15	35	12	444	19	19
	7	12	28	10	370	未検出	未検出
	8	10	23	8.0	296	未検出	未検出

未検出：撮影を実施した最低の距離においても検出されなかった

- QRコードの読み取りが可能な撮影距離はいずれも、ドットが識別可能な、理論式による撮影距離の目安よりも短かった。(理論式より近づいた距離においても複数パターンを撮影)
- ホバリングと手持ちでは条件を満足した距離に大きな差は見られなかった。
- QRコードの読み取りが可能な撮影距離は、理論式による撮影距離の目安よりも短かった。また、読み取りができなかったQRコードの静止画を拡大して観察すると、セルの白黒はだまかには識別可能だが、各セルがぼやけていた。

実験結果②



# 4. 実験結果 - 検証項目 2

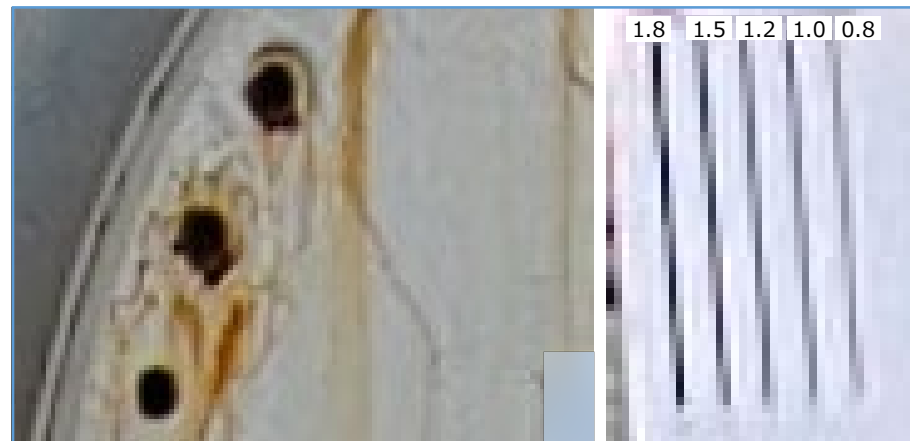
【参考】 ・ ドローンを手に持って撮影した異なる距離からタンク側板のマンホール部にある腐食/損傷箇所の静止画の見え方の比較

## ①幾何学模様を検証から得られた条件を満たす距離における静止画

位置及び撮影条件は次頁参照



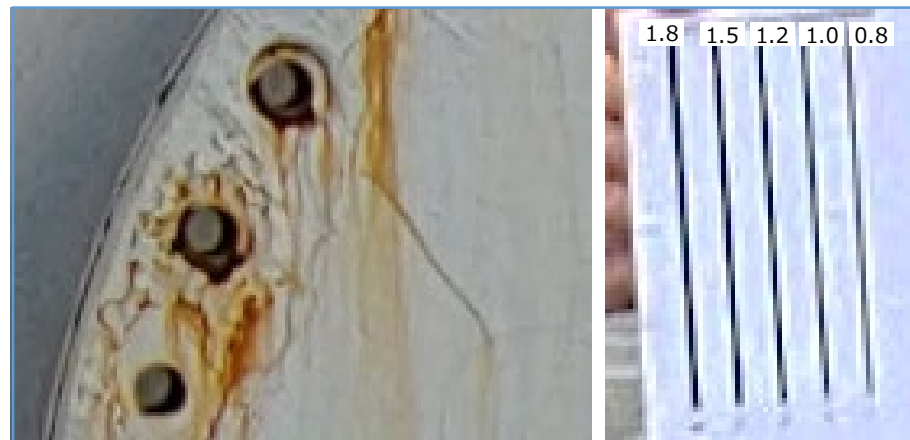
6.0mから撮影した錆と幾何学模様 ※単位：mm  
(検出基準1.8mmの場合に条件を満たす距離)



5.6mから撮影した錆と幾何学模様 ※単位：mm  
(検出基準1.5mmの場合に条件を満たす距離)



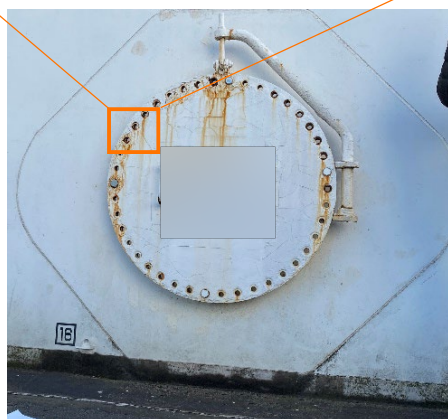
4.2mから撮影した錆と幾何学模様 ※単位：mm  
(検出基準1.2mmの場合に条件を満たす距離)



3.5mから撮影した錆と幾何学模様 ※単位：mm  
(検出基準1.0mmの場合に条件を満たす距離)

【参考】 ・ ドローンを手に持って撮影した異なる距離からタンク側板のマンホール部にある腐食/損傷箇所の静止画の見え方の比較

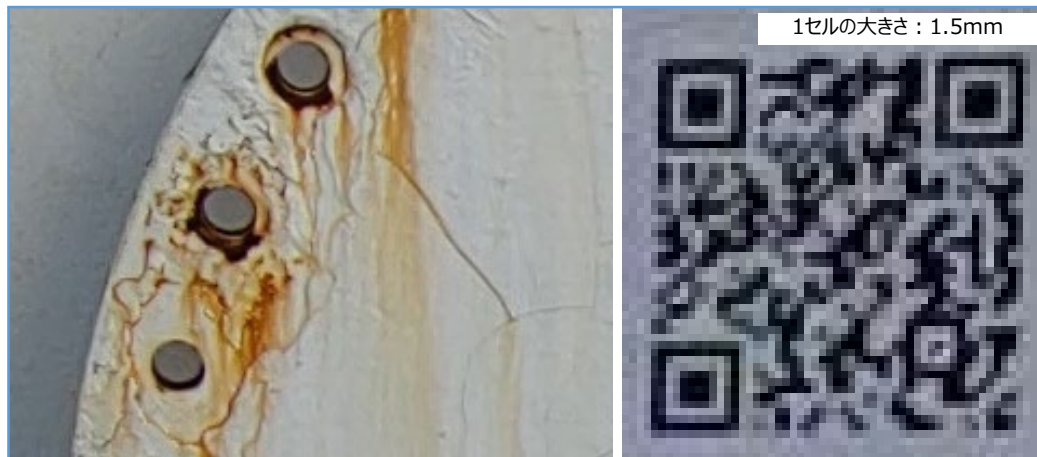
## ②QRコードの検証から得られた条件を満たす距離における静止画



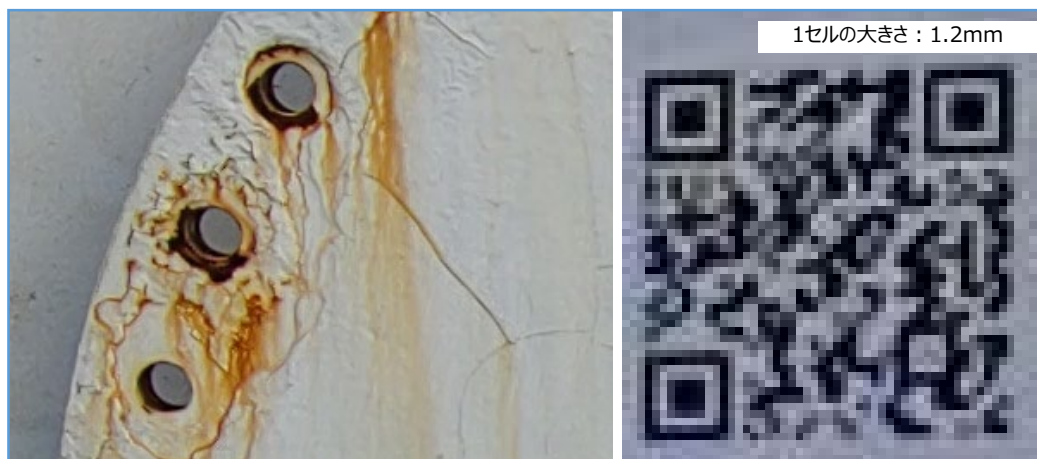
撮影位置図：タンク下部マンホール

### 【マンホール撮影条件】

- ・ ドローン手持ち
- ・ 天候：晴れ
- ・ 照度：8,960lux（日陰）



2.3mから撮影した錆とQRコード  
(検出基準1.8mmの場合に条件を満たす距離)



1.9mから撮影した錆とQRコード  
(検出基準1.5mmの場合に条件を満たす距離)



### ①②からの 考察

- ✓ 理論式の活用は撮影距離やカメラの諸元（センサーサイズ、画素数、焦点距離）及びカメラを搭載するドローンを選定し、飛行の計画を策定する上で判断の目安となることが示唆される。しかし、撮影場所の環境条件やレンズの光学設計の違いにより実測値と理論値に差が発現し得るため、ドローンの撮影では所望の画像が得られない場合がある。そこで、実際に使用する撮影機器で撮影した静止画の事前のチェックが手戻りの未然防止に有効である。
- ✓ 単純な幾何学模様では理論式と同じ、若しくは理論式よりも離れた距離で設定した判断基準をクリアすることができた。一方、QRコードでは理論式よりもかなり近づいた距離でないと設定した判断基準をクリアすることができなかった。これは判断基準を幾何学模様では人の目による識別の可否、QRコードでは機械読み取りの可否としたところによるものと思われる。実際、機械読み取りができなかったQRコードの静止画を拡大して観察したところ、ぼやけてはいるものの、セルの識別はある程度可能であった。しかし、QRコードは数百のセルによる複雑なドットパターンで構成されており、セルの大きさを検出基準値の寸法に合わせて作成している。識別の可否を数百のセルについて判断するというのは現実的ではないことから、あまり複雑ではない単純な模様を用いて判断することで適切な撮影距離の決定が十分に可能であると考えられる。
- ✓ ドローンをホバリングさせた状態から撮影した結果と人がドローンを手に持って撮影した結果に大きな差異は無く、事業者が撮影距離を決定する際、ドローン飛行前の地上での確認であっても有効な方法となり得ることがわかった。
- ✓ 判断基準とした識別の可否は極めて定性的な基準であり、事前検証を行う人によって判断が異なる可能性があることに注意する必要がある。この検証自体が事業者自らが設定した検出基準値以上の腐食・損傷を確実に検出することを目的とした検証であるという趣旨を考慮して事前検証が行われることが望ましい。

# 4. 実験結果 - 検証項目3

検証内容

リアルタイム動画の有効性に関する検証

評価ポイント

- ドローン飛行による撮影の際に、リアルタイム動画からの腐食/損傷有無の把握がどの程度可能であることを確認
- リアルタイム動画にて腐食/損傷箇所を探索する場合に備えておくべきディスプレイの仕様、ネットワーク伝送等の条件を確認

実験方法

- 事後検証を行うため、事前に直接目視により腐食を複数箇所抽出し、その寸法を確認した。
- それらの腐食箇所を含むタンク側板外周約4分の1程度を離隔約3mにて飛行させた。ドローンから配信されるリアルタイム動画上から、当該腐食の場所を知らない作業者が腐食/損傷を探索を行った。更に、リアルタイム動画の4K解像度での録画動画（以下4K動画）も同様に作業者が視聴し、腐食/損傷の探索を行った。
- 事前に抽出していた腐食6箇所のうち、リアルタイム動画で発見できた腐食は⑥の1箇所であった。しかし、ドローンを網羅的に飛行させることでそれ以外の腐食をリアルタイム動画で発見することができた。

リアルタイム動画、4K動画による腐食箇所の確認結果（位置は頁に後頁にて図示）

#	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。

実験結果

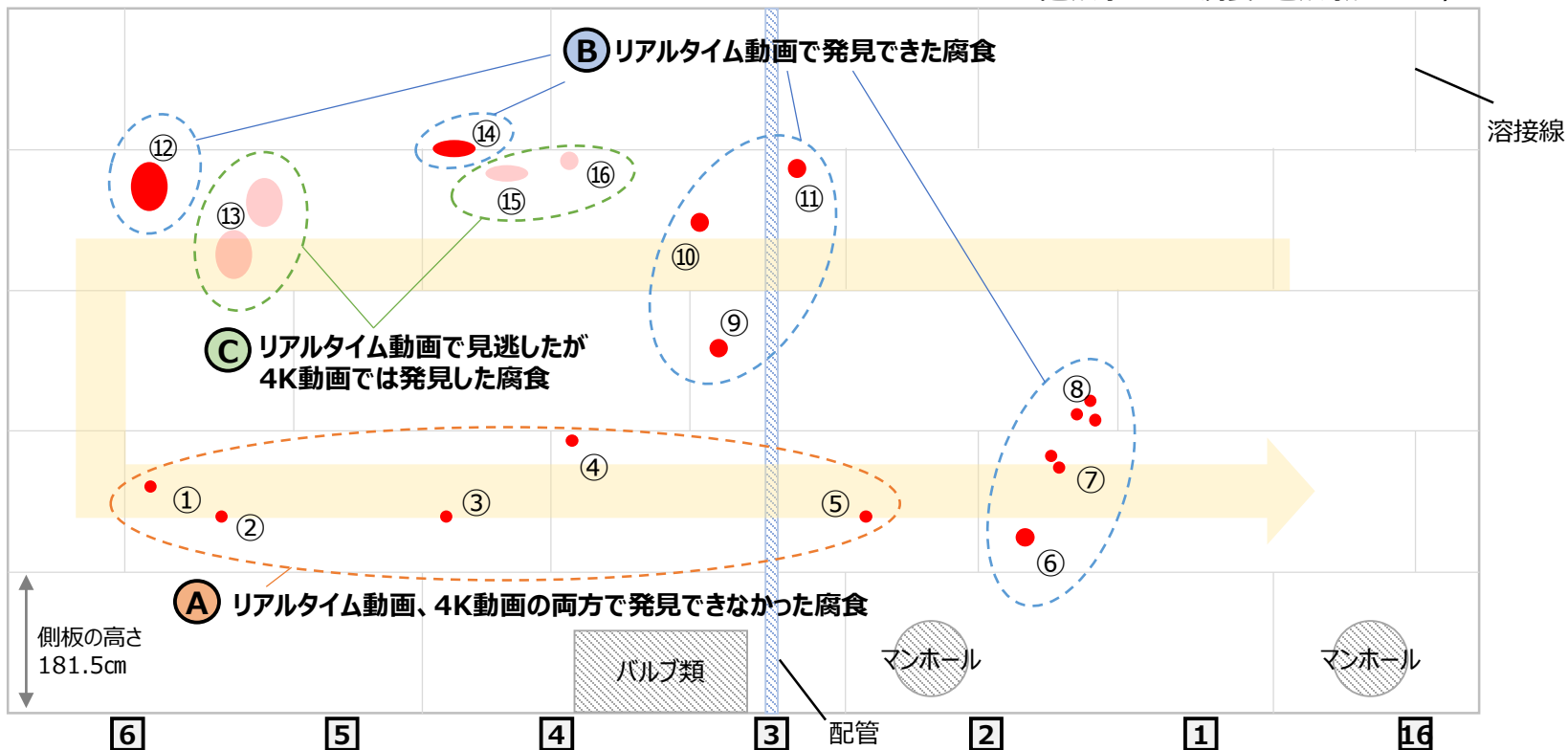
※1 事前に直接目視にて抽出を行っていた腐食/損傷。ただし、腐食の寸法の計測が概ね可能となる一定の範囲内での確認を行った。

※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。

# 4. 実験結果 - 検証項目3

タンク側板展開図への腐食箇所のマッピング

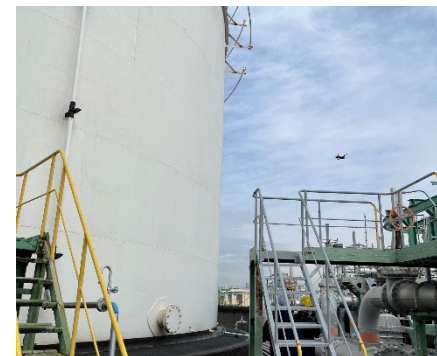
→ : 飛行ルート ●●● : 腐食  
(色が薄いものは腐食の色が薄かったもの)



実験結果

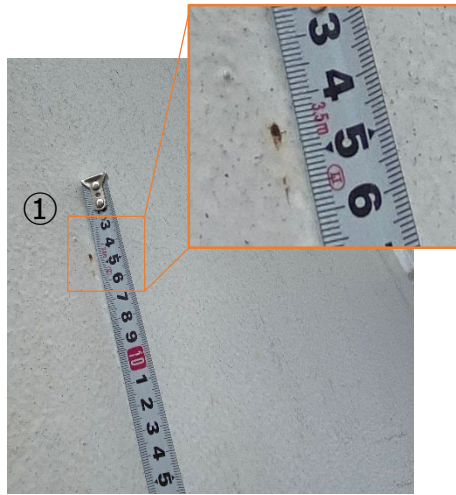
- リアルタイム動画においては、15mm以上単独腐食や10mm以下の腐食であっても群をなしている腐食は認識が比較的容易であった。また、地上からの目視では発見が困難であると思われる高所の腐食を発見することができた。一方で、10mm以下の単独腐食や色の薄い腐食は認識することができなかった。
- 同時に収録した4K動画においては、リアルタイム動画では発見できなかった色の薄い腐食も発見することができた。
- リアルタイム動画での検証時には、タンクの溶接線や付属物を頼りにおおよその腐食位置の記録を行うことはできたが、誤って実際の位置とは異なる位置へ記録を行っていたケースも見受けられた。

タンク側板を飛行させている様子

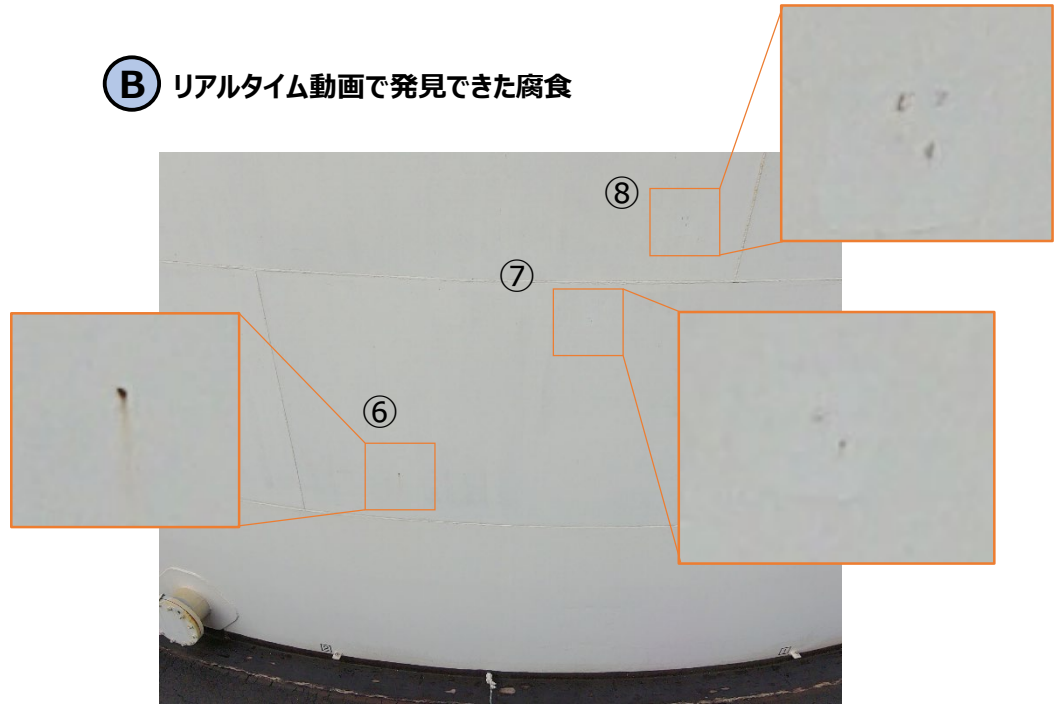


【参考】 ・ A～Cの腐食の例

**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

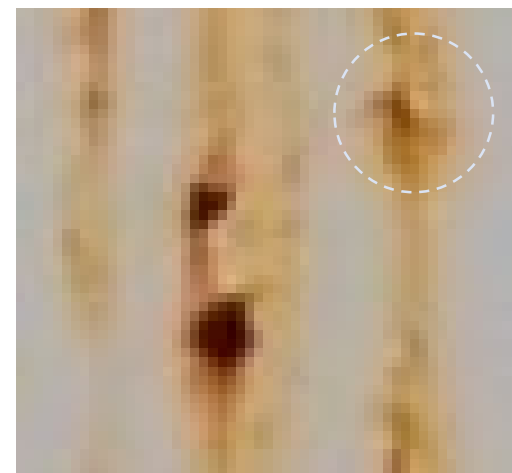
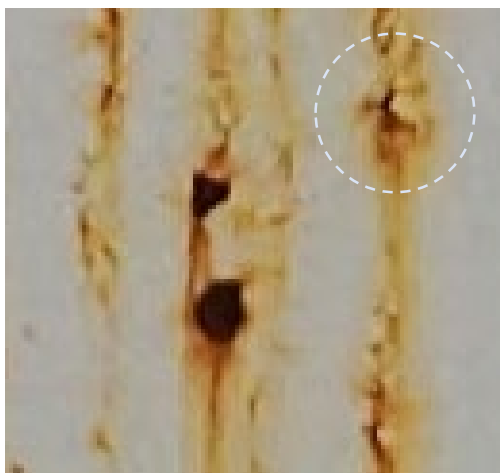


静止画、リアルタイム動画、4K動画による腐食の見え方の比較（撮影対象：⑫の錆部分）

静止画  
（約1,200万画素, 約1.3mm/px）

4K動画  
（約800万画素, 約1.4mm/px）

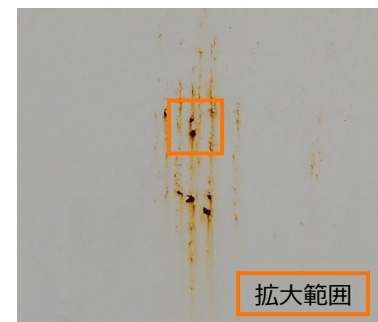
リアルタイム動画（HD）の画面収録動画※1  
（約90万画素, 約4.1mm/px）



実験結果

- リアルタイム動画の画面収録動画、4K動画、静止画における見え方を比較すると、4K動画及び静止画はリアルタイム動画と比較し鮮明な画像が取得できている。
- 推定10数mm程度の錆の割れ部分は4K動画及び静止画では認識することができたが、リアルタイム動画の画面収録動画ではぼやけてしまい認識することができなかった。その他の点状の腐食部分についても、4K動画及び静止画では比較的鮮明に状態を把握することができる。
- 今回は2.4GHzの周波数帯を利用しドローンの操縦と画像伝送を行ったが、電波干渉等の不具合は確認されず、飛行やリアルタイム動画の見え方への影響は無かった。

撮影位置図



拡大範囲

※1 今回使用したドローンが地上へ送信するリアルタイム動画については、解像度はHD（720p）、圧縮方式はH.264形式、伝送容量は0.5～2.1Mbpsであった。今回使用したディスプレイについて、解像度は約200万画素のものであり、ドローンからはHD（約90万画素）の画像を伝送していたことから、ディスプレイ上ではドローンから伝送される画像と同等のHDの画像を確認することができた。





# 4. 実験結果 - 検証項目3

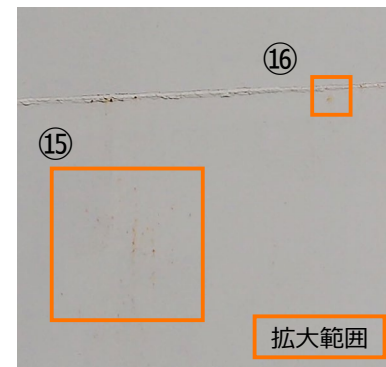
薄い錆の4K動画、リアルタイム動画での見え方 (撮影対象：⑮・⑯の錆部分)

4K動画  
(約800万画素, 1.4mm/px)

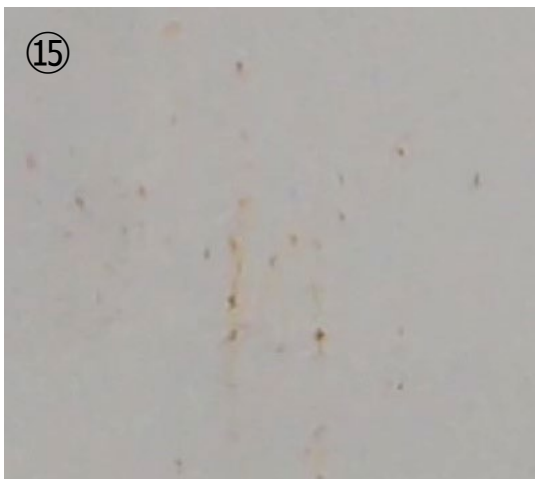
リアルタイム動画 (HD) の画面収録動画  
(約90万画素, 4.1mm/px)



撮影位置図



実験結果



- 検証時にリアルタイム動画では発見できず4K動画にて新たに発見した色の薄い腐食 (⑮・⑯) は、リアルタイム動画の録画を再度確認した際には発見することができた。このことから、リアルタイム動画を映し出すディスプレイ上には実際には映っていたが、検証時にはこれを見逃してしまったということが分かる。これは、被験者は移動するドローンから撮影する画像を視聴しており腐食/損傷がディスプレイに表示される時間が短い※1ことや、ディスプレイの画面サイズが小さい※2等の理由が想定される。

※1 今回は被験者と操縦者が連携し画角を調整しながら最大1.6m/sの速度にて飛行させた。  
 ※2 今回は7インチのディスプレイを使用した。



## 調査方法

- 屋外での利用を目的に設計されたディスプレイや付属品等を調査した。
- 調査の結果として、高輝度のディスプレイを用いることや、ディスプレイ自体に遮光フード・シェードを取付けることにより、屋外におけるディスプレイの視認性を向上させられることが分かった。

### 高輝度ディスプレイ：

一般的に高輝度ディスプレイとは輝度が1,500cd/m<sup>2</sup>(nit)以上のディスプレイを指し、日中に屋外で使用する場合には高輝度ディスプレイを用いることが望ましい。  
(例として一般的な家庭用テレビの輝度は350~500cd/m<sup>2</sup>(nit)程度である。)



製品参考：Blackmagic Design  
<https://www.blackmagicdesign.com/jp>

### 遮光フード・シェード：

ディスプレイに取り付けることで、照明や日光がディスプレイ表面で反射することを防ぐことができる。



製品参考：エヌ・イー・ピー株式会社  
<https://nepinc.co.jp/>

## 調査結果

**【参考】** 第1回実証実験ではリアルタイム動画の確認時、太陽光の反射により画面が見えにくい場面が見られたが、第2回実証実験で使用したディスプレイは輝度が高く、太陽光の反射が被験者の視認性に与える影響は小さく感じられた。

### 屋外でのディスプレイの諸元の違いによる画面の見え方の比較

第1回実証実験で使用したディスプレイ(低輝度)



- 輝度：250 cd/m<sup>2</sup>(nit)
- ディスプレイサイズ：27インチ
- 確認時の天候：曇り

第2回実証実験で使用したディスプレイ(高輝度)



- 輝度：2,500 cd/m<sup>2</sup>(nit)
- ディスプレイサイズ：7インチ
- 確認時の天候：曇り



## リアルタイム動画を用いた点検の特徴

メリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>高所や地上から死角となる場所の腐食/損傷の発見に有効である。</li> <li>現場にて腐食/損傷と思われる場所を発見した場合、その場で撮影角度を変えたり近寄ったり等、複数パターンの静止画を撮影できる。</li> </ul>
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>小さな腐食/損傷や色味の薄い腐食/損傷の発見は難しい。</li> <li>操縦者の他にディスプレイ確認者の人員配置が必要である。</li> <li>撮影場所を調整するため、操縦者とディスプレイ確認者が相互に連携し、声掛け等をする必要があるが、この連携が難しい場合がある。</li> <li>リアルタイム動画を視聴しながら正しい腐食/損傷位置・撮影位置を記録することが難しい場合がある。</li> <li>屋外の日光下ではディスプレイの画像が見えにくい場合がある。</li> </ul>
適したシチュエーション	腐食/損傷箇所が判明しており、カメラの位置や角度を変えて詳細画像を撮影したい場合

### 考察

- ✓ リアルタイム動画を用いた点検は、小さな腐食/損傷や色味の薄い腐食/損傷の発見が難しい場合があるが、一方で腐食/損傷箇所を発見した場合に、同時に撮影角度等を調整しながら動画よりも高精細な静止画を取得できることが大きなメリットであり、既往の目視点検と比較し効率的に点検を行うことができるといえる。
- ✓ 現場に持ち込むディスプレイの画面サイズが小さい場合や、ディスプレイ上での撮影動画の再現度が低下し動画を鮮明に認識することが難しい環境※1の場合、またはドローンの操縦における飛行速度や画角の細かな調整が難しい場合等には、現場でのリアルタイム動画上での腐食/損傷の見逃しの可能性がある。そのような場合に備え、バックチェック用として飛行時の動画を記録しておくことで、後に動画の再生速度やコントラストの調整を行いながらスクリーニングを行うことができるため、リアルタイム動画では認識できなかった腐食/損傷の発見に期待できる。または、腐食/損傷の探索を目的とする場合には、初めからタンク全面の動画を記録しておき事後に動画の確認を行うことで効率的な点検活動を行うことができる。
- ✓ 屋外の日光下では、高輝度の液晶ディスプレイや遮光フード等の付属品を用いることで反射を防ぎ、ディスプレイ上での動画や静止画がより見え易くなる。

※1 ディスプレイ上での動画の再現度は、ディスプレイの諸元やドローン機体からの伝送容量、圧縮方式に依存する。



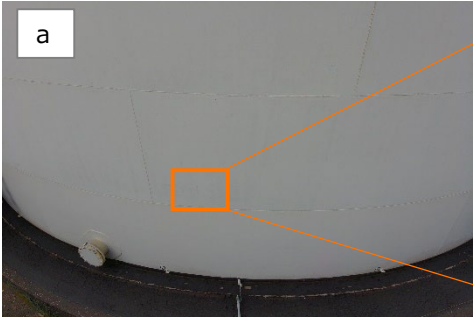
# 4. 実験結果 - 検証項目 4

**検証内容** 4. AI画像解析モデルを用いた屋外貯蔵タンク側板の腐食等の検出

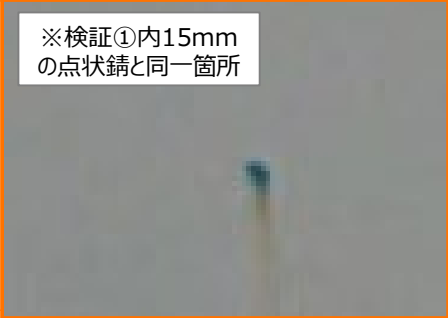
**評価ポイント** 人による点検と併せてAI画像解析を用いることによる腐食の検出可否を確認

**実験方法** 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※1により解析し、腐食箇所が検出されるかどうかを確認した。  
※1 配管腐食の検出ための解析モデル

**実験結果**

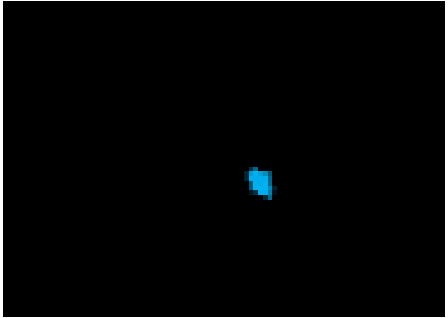


位置：タンク下部側板  
撮影距離3~5m




※検証①内15mmの点状錆と同一箇所


大きさ15mm程度の点状錆の検出を確認  
※リアルタイム動画の検証内と同一箇所



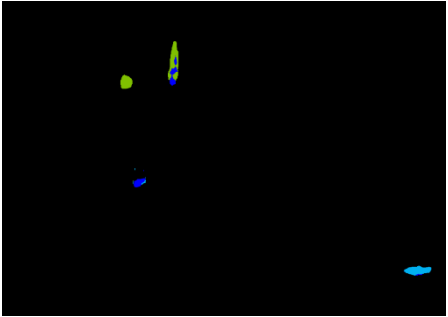
検出箇所のみ抽出



位置：階段下スティフナー付近  
撮影距離3~5m



検出箇所と非検出箇所が混在



検出箇所のみ抽出

【錆程度の評価】

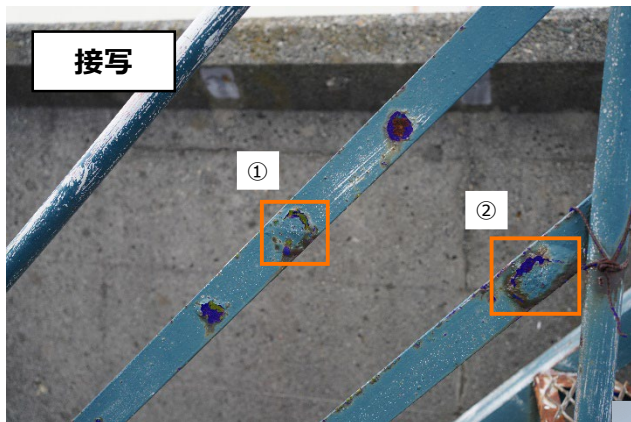
- : 小
- : 中
- : 大

・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。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については検出ができなかった。



# 4. 実験結果 - 検証項目 4

- 【参考】
- 第1回実証実験にて接写で撮影した防油堤階段の手すり部の錆について、同様のAI画像解析モデルにより解析を行った

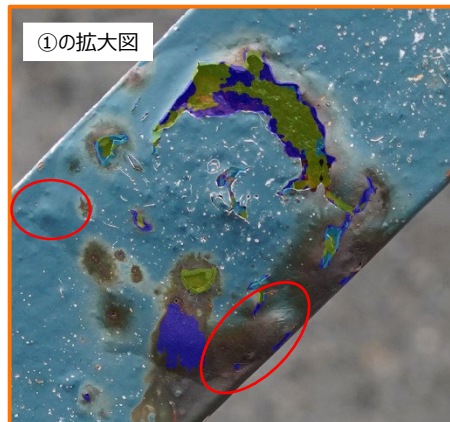


接写

①

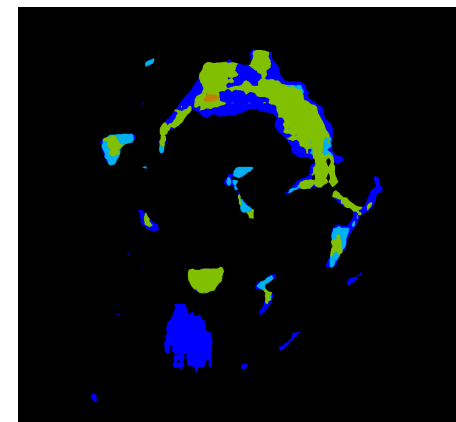
②

位置：地上階段手すり部  
(第1回実証実験時に撮影)

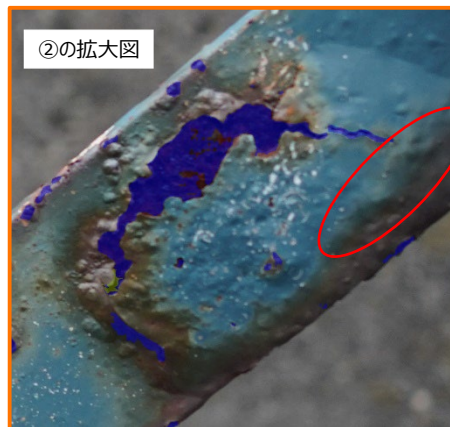


①の拡大図

赤丸：未検出の浮き錆箇所（抜粋）

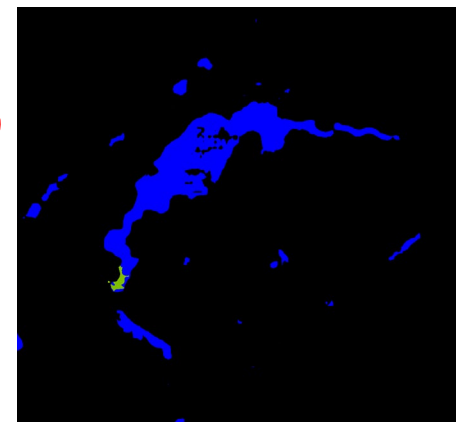


検出箇所のみ抽出



②の拡大図

赤丸：未検出の浮き錆箇所（抜粋）



検出箇所のみ抽出

【錆程度の評価】

- : 小
- : 中
- : 大

- 本実証実験のモデルを活用した場合、塗膜の浮き錆は検出されていない（上図内赤丸）。

実験結果



### 考察

- ✓ 本実証実験で使用したAI画像解析モデルは配管の腐食を学習させて作成したモデルであるため、タンクにおいては検出されない腐食があった。タンクに対する静止画を用いた点検へのAI導入に向けては、タンク特有の腐食形態を学習させたモデルを構築する必要がある。
- ✓ 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。

## 検証内容

5. タンクの3Dモデルを活用した点検記録の効率化

## 評価ポイント

- 3Dモデルを作成し腐食/損傷の詳細情報のプロットを行うことによる点検記録作成効率化の可能性有無を確認
- 3Dモデル作成のために必要となる撮影の条件を確認

## 実験方法

- 直径約21.3m、高さ約14.7mのタンクに対し、対象からの距離を3~5m、オーバーラップ率・サイドラップ率を70%にそれぞれ設定し、ドローンを用いてタンク外周（全周）の静止画を撮影した。
- 静止画をつなぎ合わせて3Dモデルを作成し、腐食/損傷の静止画や詳細情報をプロットして参照できるイメージを作成した。
- モデル作成には複数の静止画を繋ぎ合わせることで立体形状を再現するSfM（Structure from Motion）を用いた。

### 3Dモデルの作成



タンク実物の静止画



タンク全周の静止画から生成した3Dモデル



一部に凹み

## 実験結果

- 飛行回数：7回、飛行時間：合計約2hで計1,655枚の静止画（約1.3~2.2mm/px）を撮影し、全量でモデルを作成した。（※本実証実験ではタンク間距離が短い狭所環境において操縦者の目視での飛行を維持するために離発着箇所を4箇所設定し、タンクを約1/4周撮影する毎に着陸→移動→別箇所からの離陸を繰り返した。）
- 撮影静止画～モデル作成には53h程度を要した。計算機での処理はほぼ自動で実施
  1. 計算機での処理（ファーストライ）：24h
  2. 計算機での処理（セカンドトライ）：24h  
※ファーストライで作成したモデルの再現度が不十分だったため、再現度を上げるために設定を調整して再実施
  3. ノイズの除去やスムージング等の手作業：5h
- 特徴点の少ない側面に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（上図オレンジ囲箇所）、作業者が詳細情報や画像をプロットして管理するために十分な精度のモデルが得られた。



## 詳細静止画のプロット

実験結果



タンク全周の静止画から生成した3Dモデル



位置X	位置Y	損傷箇所ID	登録日	損傷種別	損傷サイズ	コメント
120	15	1	2023.01.24	錆	50mm x 30mm	ドローンでの撮影で発見



クリックすると腐食/損傷箇所の詳細静止画が表示される (イメージ)

- タンク外周の静止画を繋ぎ合わせることで3Dモデルを作成し、腐食/損傷の該当箇所を参照することで詳細画像や記録を紐づけてプロットして表示できることを確認できた。

考察

- ✓ 3Dモデル上に点検時の情報や実際の静止画をリンクさせることで、当事者以外であっても腐食/損傷位置把握がしやすくなり状態の管理が容易になることが確認でき、点検記録の作成や管理の効率化に3Dモデルの活用が有効な方法となり得ることがわかった。
- ✓ 本実証実験では腐食・損傷の有無や状態を確認できるような高精細な3Dモデルの作成を目的としていない。このためSfMの手法を用いて静止画のみでモデル作成を行っているが、特徴点の少ない箇所においては、実際には存在しない凹みが生成される結果となった。
- ✓ より高精細な3Dモデルを生成することにより、3Dモデルを用いた検査への利活用が期待できる一方で、高解像度の静止画を撮影するためにタンクに接近した場合は、画角が狭まることにより、附属物等特徴点の映り込み減少によるモデル精度の低下、静止画枚数が増えることによる生成処理時間の増大が生じることとなる。より精度の高い3Dモデルを生成したい場合には、SfMと他の技術との組合せや他の3D化技術 (LiDAR等) を活用してモデルを生成する方法が考えられる。
- ✓ 対象タンクに対し実験方法に記載の条件の下、詳細情報や画像をプロットして管理するために十分な精度のモデルが得られた。オーバーラップ率やサイドラップ率を下げた場合、撮影枚数が減少し、飛行時間やデータ処理時間は短くなる (モデルの作成効率は向上する)。しかし、モデルの再現度は低下する可能性があるため、モデルの用途から必要な再現度を考慮し、撮影条件を検討する必要がある。