

テクノロジーマップの整備に向けた調査研究  
(アナログ規制の見直しに向けた技術実証等) における技術実証

## 技術実証報告書

実証類型番号 3 :

ドローン、3D 点群データ等を活用した構造物等の検査の実証

一般財団法人日本建築設備・昇降機センター

2024 年 2 月 16 日

## 目 次

1	技術実証の概要 .....	3
1.1	目的 .....	3
1.2	対象業務（法令） .....	3
1.3	全体像 .....	3
1.4	実施体制・期間 .....	6
1.4.1	実施体制 .....	6
1.4.2	実施期間 .....	7
2	技術実証内容の詳細 .....	8
2.1	技術実証の方法 .....	8
2.2	実施場所等 .....	15
2.3	実施条件等 .....	18
3	技術実証の結果 .....	21
3.1	結果の評価ポイント・方法 .....	21
3.2	結果及び評価・分析 .....	30
	用語集 .....	81

## 1 技術実証の概要

### 1.1 目的

遊戯施設の定期検査は、規則第 6 条の 2 の 2 第 2 項の規定に基づき、国土交通大臣が定めるところにより行うこととしている。

遊戯施設の定期検査の実施にあたっては「国土交通大臣が定めるところによる」として、平成 20 年国土交通省告示第 284 号遊戯施設の定期検査報告における検査及び定期点検における点検の項目、事項、方法及び結果の判定基準並びに検査結果表を定める件（以下「遊戯施設定期検査告示」という。）別表により、検査の項目、事項、方法及び結果の判断基準が定められている。

この検査において、有資格者である昇降機等検査員等（以下「検査員」という。）が目視にて確認している、建造物やコースターの軌道、軌道等の腐食、変形、き裂、破損等に関して、高所作業車の使用や軌条を歩いて検査を行う等、高所での作業が多く検査員の安全確保に課題がある。また、高所作業車の手配や準備に費用や時間を要している。

このため、本実証においてこれらの課題に対して、ドローンの遠隔操作により撮影した画像に基づき、検査員が行う目視検査（以下「人的検査」という。）と同等の判断をすることができるか実証を行った。

また、遊戯施設は他の建築物・構造物と比べて特殊な構造であるため、ドローン検査の適用性に関する課題も懸念された。例えば、立体的で複雑な形状の施設が多く、ドローンの手動検査の技術難易度が高いことや、鉄骨構造やコースター軌条の制動装置など磁力を発生する構造が多く、飛行中のドローンが磁界影響を受けてセンサーエラーを起こす可能性があることや、雨や風などの飛行環境などの課題が懸念された。

そこで、本実証では、遊戯施設の定期検査において、安全性向上・効率化・低コスト化に貢献できるよう、ドローンを使用した検査が人的検査と同等の判断が可能であることの技術実証を行うこととし、併せて、遊戯施設特有の条件を考慮してドローンでの検査を行うための課題抽出・解決方策の検討も行った。

### 1.2 対象業務（法令）

本実証の対象となる法令を以下に列記する。

- ・建築基準法第 12 条（報告、検査等）※第 88 条で準用する場合を含む
- ・建築基準法施行規則第 5 条（建築物の定期報告）
- ・建築基準法施行規則第 5 条の 2（国の機関の長等による建築物の点検）
- ・建築基準法施行規則第 6 条（建築設備等の定期報告）
- ・建築基準法施行規則第 6 条の 2（国の機関の長等による建築設備等の点検）
- ・建築基準法施行規則第 6 条の 2 の 2（工作物の定期報告）
- ・建築基準法施行規則第 6 条の 2 の 3（国の機関の長等による工作物の点検）

### 1.3 全体像

1.1 の目的に記したとおり、遊戯施設定期検査告示における検査項目において、検査員が高所の狭い歩廊や、高所作業車を用いて目視により確認している高所の構造物やコースターの軌

道等のうち、ドローンの遠隔操作で撮影した画像により人的検査と同等の判定が可能と考えられる検査項目を選定し、表 1 に示す 9 つの項目（検査事項）について以下の範囲で実証を行うこととした。

また、この技術が遊戯施設定期検査において活用できた場合、検査員の安全性向上、検査時間の短縮等による効率化、足場や仮設工事の不要、工数削減による低コスト化等に繋がることを期待し、実証を行うこととした。

【実証範囲】

- ・検査対象とする遊戯施設の検査項目のうち、ドローンの遠隔操作で撮影した画像により、人的検査と同等以上の判定が可能と考えられる以下検査項目（箇所）に関し、損傷や劣化の状態をドローン等の遠隔操作により撮影し、画像データを取得する。
- ・遠隔操作かどうかを問わず検査対象の遊戯施設の損傷や劣化の状態等を人的検査と同等以上の精度で確認できるデータや高精細画像を取得する。

表1 画像により判断が可能と考えられる遊戯施設定期検査項目（遊戯施設定期検査告示）

一 構造部分

(い)検査項目	(ろ)検査事項	(は)検査方法	(に)判定基準
(五) 構造物	構造部材及び補助部材の取付けの状況	テストハンマーによる打検又は目視による緩み確認マークの位置の確認その他ナットの緩みを確認できる方法により確認する。	構造部材又は補助部材の取付けが堅固でないこと。 <sup>※1</sup>
	構造部材の腐食の状況	目視により確認し、腐食が認められた場合にあっては、腐食を除去して部材厚さが最も薄い箇所を測定する。	イ 腐食により部材の残存厚みが設置時の厚みの 90%未満であること。 <sup>※2</sup> ロ 著しい錆又は腐食があること。
	補助部材の腐食の状況	目視により確認し、腐食が認められた場合にあっては、腐食を除去して部材厚さが最も薄い箇所を測定する。	イ 腐食により部材の残存厚みが設置時の厚みの 90%未満であること。 <sup>※2</sup> ロ 著しい錆又は腐食があること。
	構造部材の変形、偏位、き裂及び破損の状況	目視により確認する。	構造部材に変形、偏位、き裂又は破損があること。
	構造部材の接合部分の緩み及びき裂の状況	き裂を目視により確認するとともに、テストハンマーによる打検又は目視による緩み確認マークの位置の確認その他ナットの緩みを確認できる方法により確認する。	接合部に緩みがあること又は溶接部にき裂があること。 <sup>※1</sup>

二 軌道部分

(い)検査項目	(ろ)検査事項	(は)検査方法	(に)判定基準
(一) 軌条、軌道、水路及び滑走路	軌条、軌道及び水路のき裂及び変形の状況	目視により確認する。	き裂又は変形があること。
	軌条、軌道及び水路の錆及び腐食の状況	目視により確認し、腐食が認められた場合にあっては、腐食を除去して部材の厚さが最も薄い箇所を測定する。	イ 腐食により部材の残存厚みが設置時の厚みの 90%未満であること。 <sup>※2</sup> ロ 著しい錆又は腐食があること。
	軌条、軌道及び水路の接合部の緩み及びき裂の状況	き裂を目視により確認するとともに、テストハンマーによる打検又は目視による緩み確認マークの位置の確認その他ナットの緩みを確認できる方法により確認する。	接合部に緩みがあること又は溶接部にき裂があること。 <sup>※1</sup>

九 電気設備

(い)検査項目	(ろ)検査事項	(は)検査方法	(に)判定基準
(四) 避雷設備	突針、支持金物、引下げ導線等の取付けの状況	目視により確認する。	突針、支持金物、引下げ導線等の取付けが堅固でないこと。

※1：緩み確認マーク（合いマーク）等により目視確認できる場合に限る。

※2：腐食を除去し、部材厚さを計測する検査は除く（腐食の確認のみ）。

【実証内容】

本実証では、遊戯施設定期検査告示のうち、上記表 1 に示す画像により判断可能と考えられる 9 つの項目に関して、ドローンの遠隔操作で撮影した画像により人的検査と同等の判断ができるか以下により実証し、評価する。

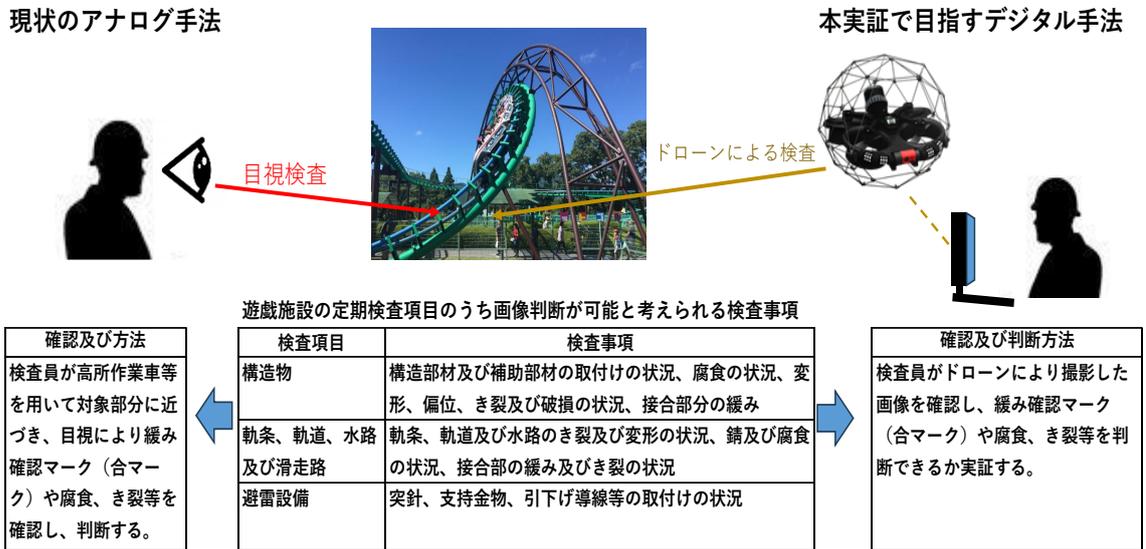


図 1 アナログ手法からデジタル手法への置き換えイメージ

(1) 検査員による定期検査の実施内容の調査

上記「画像により判断が可能と考えられる遊戯施設定期検査項目」に関し、現状では、検査員が高所作業車などを用いて人的検査を行っていると言われていたが、実際にどのような方法で検査を行っているのか、また、検査に要する時間や費用等についても調査した。

また、実際の遊戯施設ではボルトの緩みや傷等はないため、遊戯施設の構造部分を模したサンプル品に人工的に傷やボルトの緩み確認マーク（合いマーク）のズレ、錆を施したもの（以下「模擬劣化サンプル品」という。）を用いて、検査員が通常どおり人的検査する場合の見方や目視可能な距離等を確認した。

(2) 遊戯施設におけるドローン検査の技術実証

実際の遊戯施設において、人的検査を行った構造部材や軌道部分を対象に、カメラや解像度・倍率、距離、安全ガードなどを考慮したうえで、ドローンで状態を撮影し、検査員が判断できるか確認するとともに、検査時間や費用について調査する。併せて、模擬劣化サンプル品を使用し、傷やボルトの緩み確認マーク（合いマーク）のズレ、錆に対しての撮影距離や倍率等、カメラに要求される性能について調査した。

また、遊戯施設は形状が特異であるため、そのような施設に対する手動検査の難易度等の課題に対して 3D 点群データを取得して、当該データを利用した自動での飛行及び撮影についても実証した。

(3) 実証結果分析・整理

実証結果を踏まえ、人的検査と同等と考えられる精度や安全性、効率化、コスト等を分析し、

ドローンで撮影した画像により判断可能な遊戯施設の定期検査項目、画像により検査結果を判断する際の条件等を確認した。

## 1.4 実施体制・期間

### 1.4.1 実施体制

本実証にあたっては、一般財団法人日本建築設備・昇降機センターが実施主体となり実施した。

また、本実証を遂行するにあたり、長年遊戯施設の定期検査業務に従事してきた検査員の専門的知見とドローン検査における知見が必要不可欠なため、サノヤス・ライド株式会社及びブルーイノベーション株式会社の協力を仰ぎ、実施することとした。

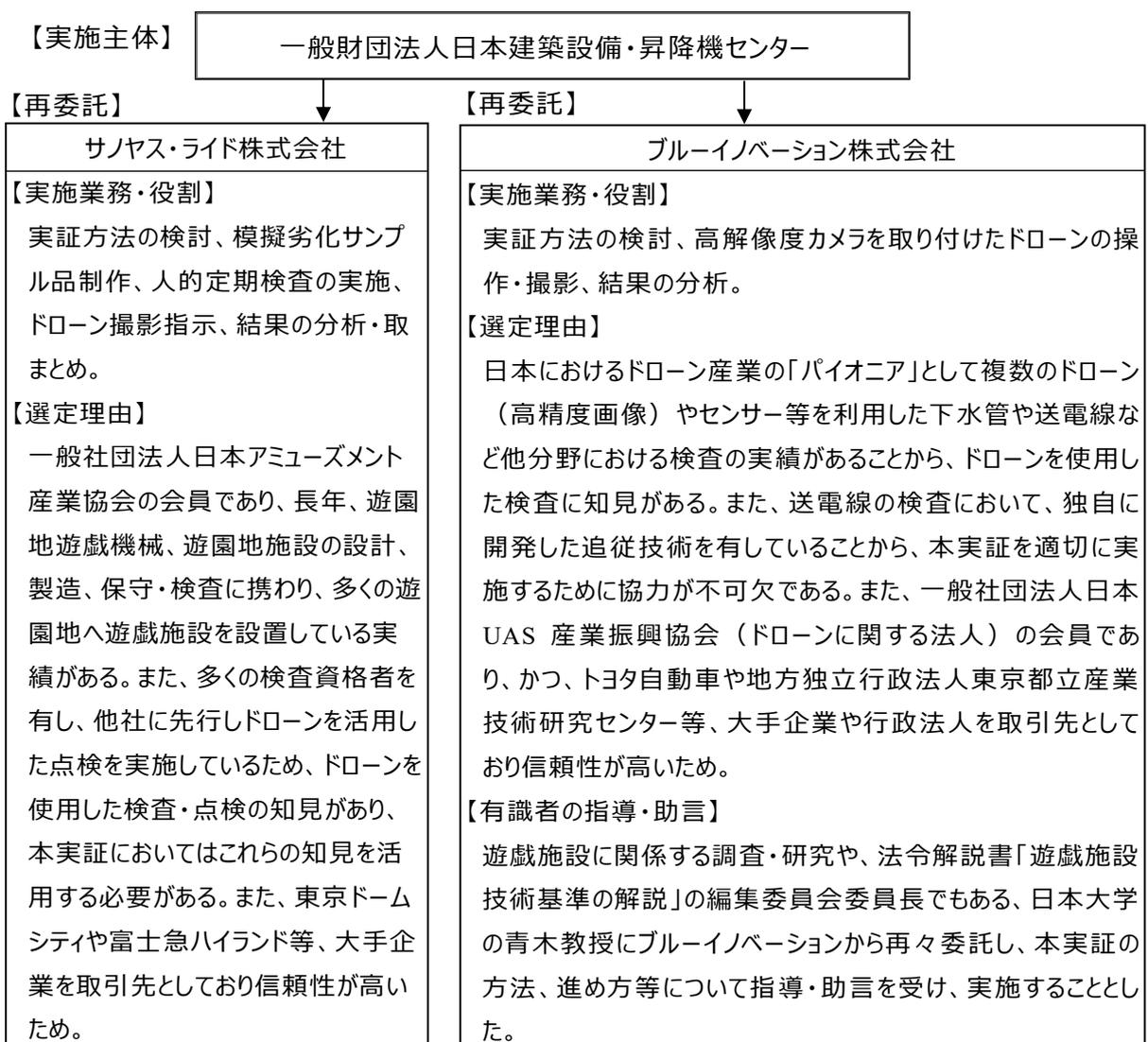


図 2 実施体制図

#### 1.4.2 実施期間

令和 5 年 10 月 2 日から令和 6 年 2 月 16 日まで

## 2 技術実証内容の詳細

### 2.1 技術実証の方法

今回実施した、(1)検査員による定期検査の実施内容の調査、(2)遊戯施設におけるドローン検査の技術実証の方法を以下に示す。

#### (1) 検査員による定期検査実証の方法

検査員による定期検査の実証を（ア）模擬劣化サンプル品に対する人的検査の実証、（イ）コースターにおける検査員による定期検査(人的検査)の実証、（ウ）観覧車における検査員による定期検査（人的検査）の方法により実施した。

##### （ア）模擬劣化サンプル品に対する人的検査の実証

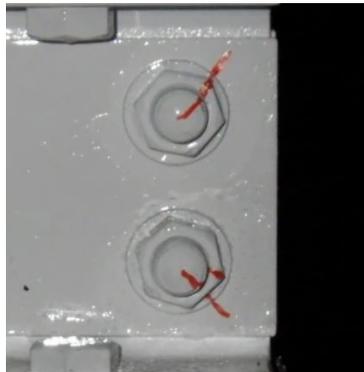
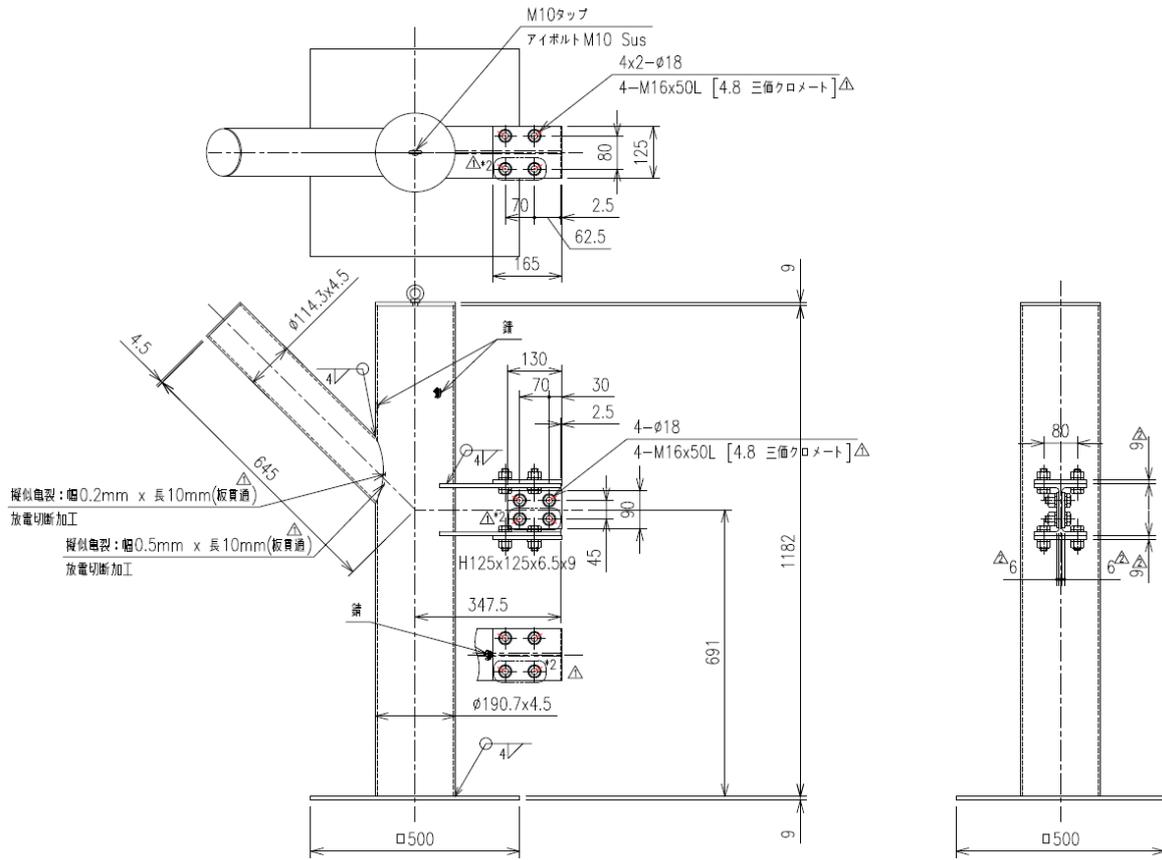
大分県の遊園地である城島高原パーク内に模擬劣化サンプル品<sup>※</sup>を設置し、検査員が通常どおり人的検査をする場合の傷、錆、ボルトの緩み（合いマークのズレ）の見方や目視可能な距離を確認した。

なお、模擬劣化サンプル品を用いた実証場所として、当初、サノヤス・ライド株式会社三田工場を予定していたが、工場と検査員の都合が合わず、城島高原パークにて行った。

※模擬劣化サンプル品は、部材の色により錆や傷の見え方が異なることが考えられるため茶、黒、白の3体を準備し、それぞれ実証を行った。



図 3 実証に使用した模擬劣化サンプル品の外観



き裂（上 0.2 mm、下 0.5 mm幅）ボルト緩み:合いマークズレ（下段）

鋳

図 4 実証に使用した模擬劣化サンプル品の詳細

(イ) コースターにおける検査員による定期検査（人的検査）の実証

城島高原パークに設置されたコースター（スーパーL&Sコースター）について、1.3 で選定した検査項目について、実際にどのような手法で検査員が人的検査を行っているのか調査した。また、実施にあたっては、時間的な制限があることからコースターの直線部分（A1）とスパイラル部分（A2）及び避雷設備について実証した。

なお、検査に要した時間は、準備時間も含めストップウォッチで測定するとともに、検査に要した費用等についても調査した。

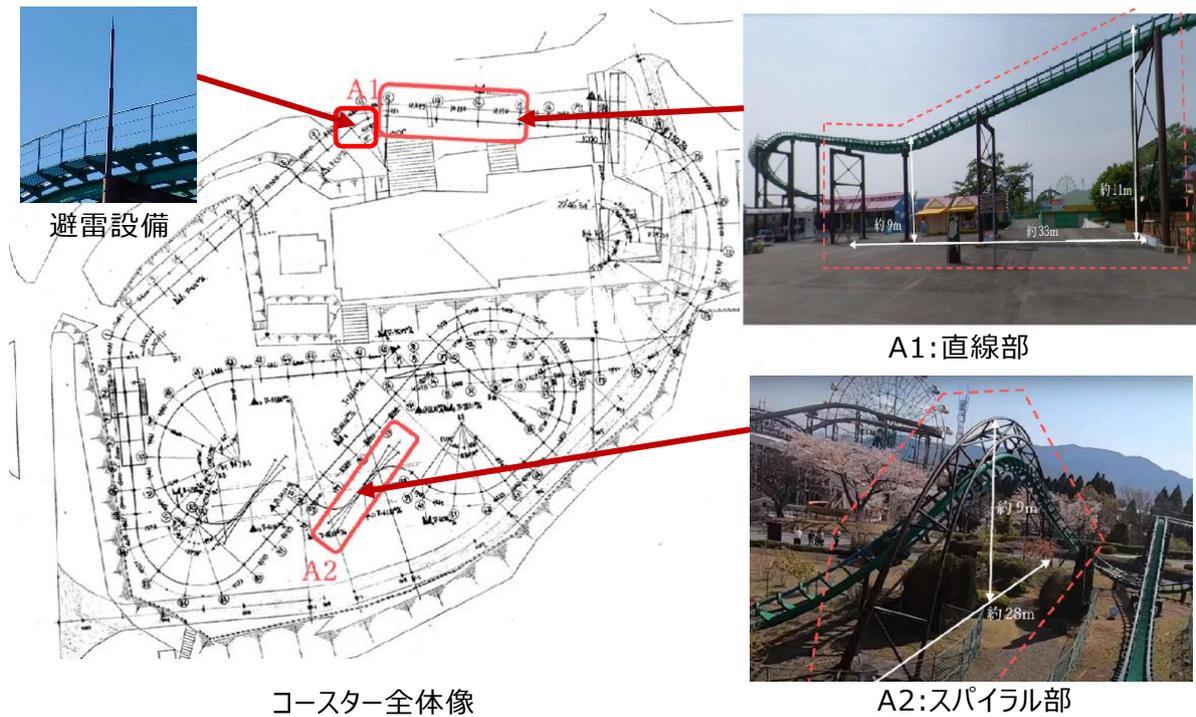
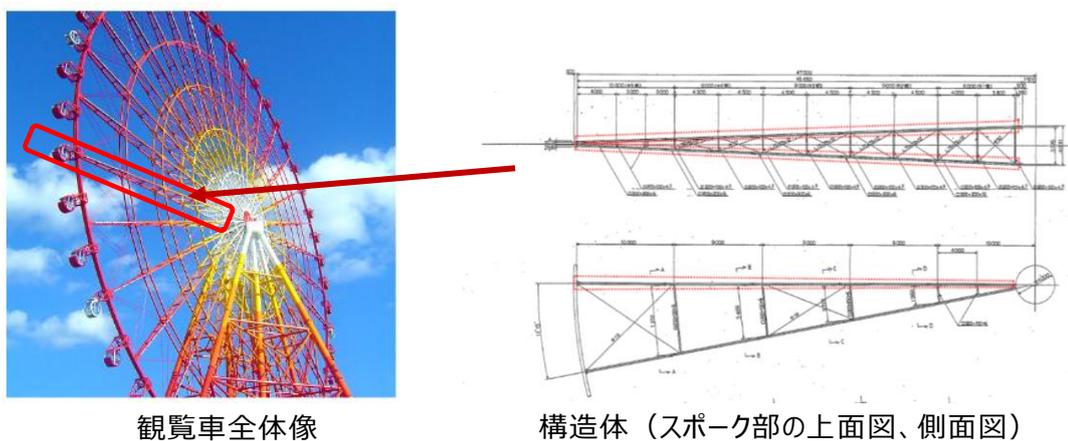


図 5 コースターの実証部分

(ウ) 観覧車における検査員による定期検査（人的検査）の実証

熊本県の遊園地であるグリーンランドに設置された観覧車（レインボー）について、1.3で選定した検査項目のうち、主に構造部分について、実際にどのような手法で検査員が人的検査を行っているのか調査した。また、準備時間も含め検査に要した時間をストップウォッチで測定するとともに、検査に要した費用等についても調査した。



構造体（支柱部）

図 6 観覧車の実証部分

## (2) ドローンによる定期検査実証の方法

ドローンによる定期検査実証を（ア）模擬劣化サンプル品に対するドローン検査の実証、（イ）コースターにおけるドローン検査の実証、（ウ）観覧車におけるドローン検査の実証の方法により行った。

### （ア）模擬劣化サンプル品に対するドローン検査の実証

城島高原パーク内に設置した模擬劣化サンプル品<sup>※</sup>をドローン（ELIOS3、Matrice300RTK、Enterprise）に登載したカメラにより撮影し、傷、錆、ボルトの緩み（合いマークのズレ）に関して人的検査と同等と考えられる撮影距離や倍率等、カメラに要求される性能を確認した。

また、十分な明るさが確保できない状況においてもドローンを活用した検査が可能か確認するため、日没後に同様の実証を行った。

※模擬劣化サンプル品は、部材の色により錆や傷の見え方が異なることが考えられるため茶、黒、白の3体を準備し、それぞれ実証を行った。

### 【実証で使用したドローンに関して】

今回実証で使用したドローンの一覧を表2に示す。

遊戯施設（コースター及び観覧車）の目視検査をドローンで代替して検査する実証において、実証のポイントは以下の点と考えられる。

- a 目視の代替となる精度を満たすか
- b 安全に検査を実施できるか
- c 目視検査と比較して検査効率はどうか
- d コスト

a 精度については、目視と同等の検査が行えるカメラ性能（撮影分解能、カメラの向き等）を確認した。実証は模擬劣化サンプル品の撮影・実証において、ドローン毎に撮影分解能を変化させ実施した。また夜間においてはライトを搭載している機種による検査が有効と考えられる。

b 安全性については、ドローンが施設に接近して撮影しても磁界の影響などでセンサーエラーが出ないかなどを確認した。

c 効率については、ドローンによる検査は、パイロットによる手動検査と自動検査によって現場撮影時間は変わるため、両者の比較が可能なように実施した。

d コストはドローンによる検査のコストとして、検査に必要な人数やドローンの調達費用等によるコストを算出した。

上記の観点を踏まえてドローンを選定した。

まず、手動検査の機種として、機体の周りをガードで覆い、衝突耐性に優れ、接近しても安全に飛行ができ、かつ夜間撮影可能なライトを搭載する Flyability 社 ELIOS3 を選定した。ELIOS3 は、接近しての撮影に加えカメラの撮影方向を上向きにも向けられる機種であり、また、次に示す自動検査のための測量データ（3D 点群データ）を取得するための LiDAR も搭載可能である。

次に自動検査の機種として、屋外での自動飛行が可能で且つ高性能なズームカメラも搭載可能な産業用ドローン DJI 社 Matrice300RTK を選定した。

精度確認用の機体として、小型で汎用的なドローンである、DJI 社 Mavic3 Enterprise を選定した。

表 2 実証で使用したドローン

機体名称	Fly Ability 社 ELIOS3	DJI Matrice300 RTK	DJI Mavic3 Enterprise
外 観			
プロペラ数	4	4	4
機体大きさ	38×48 cm(球体最大)	89 cm×89 cm	34 cm×28 cm
機体重量	1.45kg	6.3 kg	1.0 kg
水平精度	0.1m～	0.01m (RTK)～0.1m	0.1m～0.5m
耐風性能	8.0 m/s	12.0 m/s	12.0 m/s
通信距離	水平 500m 鉛直 150m	水平 8km	水平 8km
屋内高度維持	○ (SLAM)	○	○
自動飛行	×(距離ロック機能あり)	○ (GPS)	○ (GPS)
障害物検知	×(安定センサー搭載)	○全方向	○全方向
カメラ	1/2.3 インチ CMOS センサー フル HD、4K	H20 シリーズ 1/1.7 インチ CMOS センサー 記録画素 5184 × 3888 動画 4K	4/3 型 CMOS センサー 記録画素 8000×6000 動画 4K

#### (イ) コースターにおけるドローン検査の実証

城島高原パークに設置されたコースター（スーパーL&S コースター）について、1.3 で選定した検査項目について、人的検査をおこなった構造部分や軌道部分等を対象に、検査員立ち会いのもと、手動操作によりドローン（ELIOS3）で状態を撮影し、人的検査を同等の精度で確認できるか実証した。また、準備時間も含め検査に要した時間をストップウォッチで測定するとともに、検査に要した費用等についても調査した。

併せて、複雑な飛行経路および撮影設定が可能な飛行計画作成アプリで事前に自動飛行の計画を作成し、自動検査を実施した。飛行計画作成アプリで自動飛行の計画を作成するためには、コースターの 3 次元データが必要となる。3 次元データを得るには幾つかの手法があるが、今回は LiDAR を搭載したドローンで 3 次元測量を行うことで、3D 点群データを取得し、3 次元データとする方法と、コースターの設計図（平面図、立面図）から 3D モデルを新たに作成し、3 次元データとする 2 種類を試行した。ドローン（ELIOS3）は LiDAR を搭載しており、3 次元測量を行うことで 3D 点群データを作成した。また、コースターの設計図（平面図、立面図）などのデータから 3D モデルを作成した。これらのデータを、飛行計画作成アプリの基礎データとして読み込み、自動飛行及び自動撮影の計画を作成し、この計画どおりに自動検査ができるかどうかを実証した。



手動検査の様子  
(ELIOS3)

自動検査の様子  
(Matrice300RTK)

図 7 コースターにおけるドローン検査の様子

【自動検査を行うための準備方法】

上記の自動検査を行うための準備作業について、図 8 に視覚的にまとめた処理フローを、詳細を表 3 3D モデルの作成とそれに基づく自動検査を行うための手順に示す。

表 3 3D モデルの作成とそれに基づく自動検査を行うための手順

	作業内容
# 1	ELIOS3 が点群取得のための飛行（マッピング飛行）を行う。
# 2	ELIOS3 のコントローラーにインストールされている Cockpit アプリ中の FlyAware(Flyability SLAM エンジン) が LiDAR フォーマット (.las) の 3D 点群データを作成する。
# 3	ELIOS3 のコントローラーと PC を接続し、PC 上の Inspector4.0 を使って #2 の 3D 点群データをダウンロードする。
# 4	PC 上の GeoSLAM Connect に #3 の 3D 点群データを読み込ませて、その精度を測量グレードに高める。(出力ファイル形式: .laz, .traj)
# 5	ゼンリンデータコム自動飛行設定アプリケーションを起動し、[点群読込]ボタンから #4 の測量グレード 3D 点群データ (.laz) を読み込ませ、3D モデルを作成・表示する。( .traj はドローンの軌跡なので不要)
# 6	3D モデル画面から撮影位置とカメラアングル、ズーム倍率などを必要な撮影位置の数だけ設定する。
# 7	最後に基準点 2 点を設定し、それらの正確な緯度と経度を入力する。
# 8	[飛行ファイル出力]ボタンにより、KML フォーマットの飛行ファイル (.kmz) が出力される。 なお、KML フォーマットでは撮影位置（ウェイポイント）が以下のようなタグで記述される。 <Placemark> <name>撮影位置（ウェイポイント）名</name> <Camera> <longitude>経度 (°) </longitude> <latitude>緯度 (°) </latitude> <altitude>高度 (m) </altitude> <altitudeMode>'高度は地表からモード'</altitudeMode> <heading>カメラのパン（左右角）</heading> <tilt>カメラのチルト（上下角）</tilt> </Camera> </Placemark>
# 9	飛行ファイル (.kmz) を microSD カードに入れ、Matrice300RTK のスマート送信機にセットする。

# 10	Matrice300RTK のスマート送信機にインストールされている DJI Pilot2 を起動して飛行ファイル (.kmz) をインポートする。
# 11	飛行ミッションが作成されるので、DJI Pilot2 のミッションライブラリ画面からその飛行ミッションを選択する。
# 12	# 11 で開いた画面で[スタートボタン]を押すと飛行ミッションがスタートし、飛行前の確認画面が表示される。
# 13	飛行前の確認画面の[次へ]を押して飛行ミッションのデータを機体にアップロードする。
# 14	[離陸]ボタンを押すと機体のプロペラが回り始め、自動検査がスタートする。

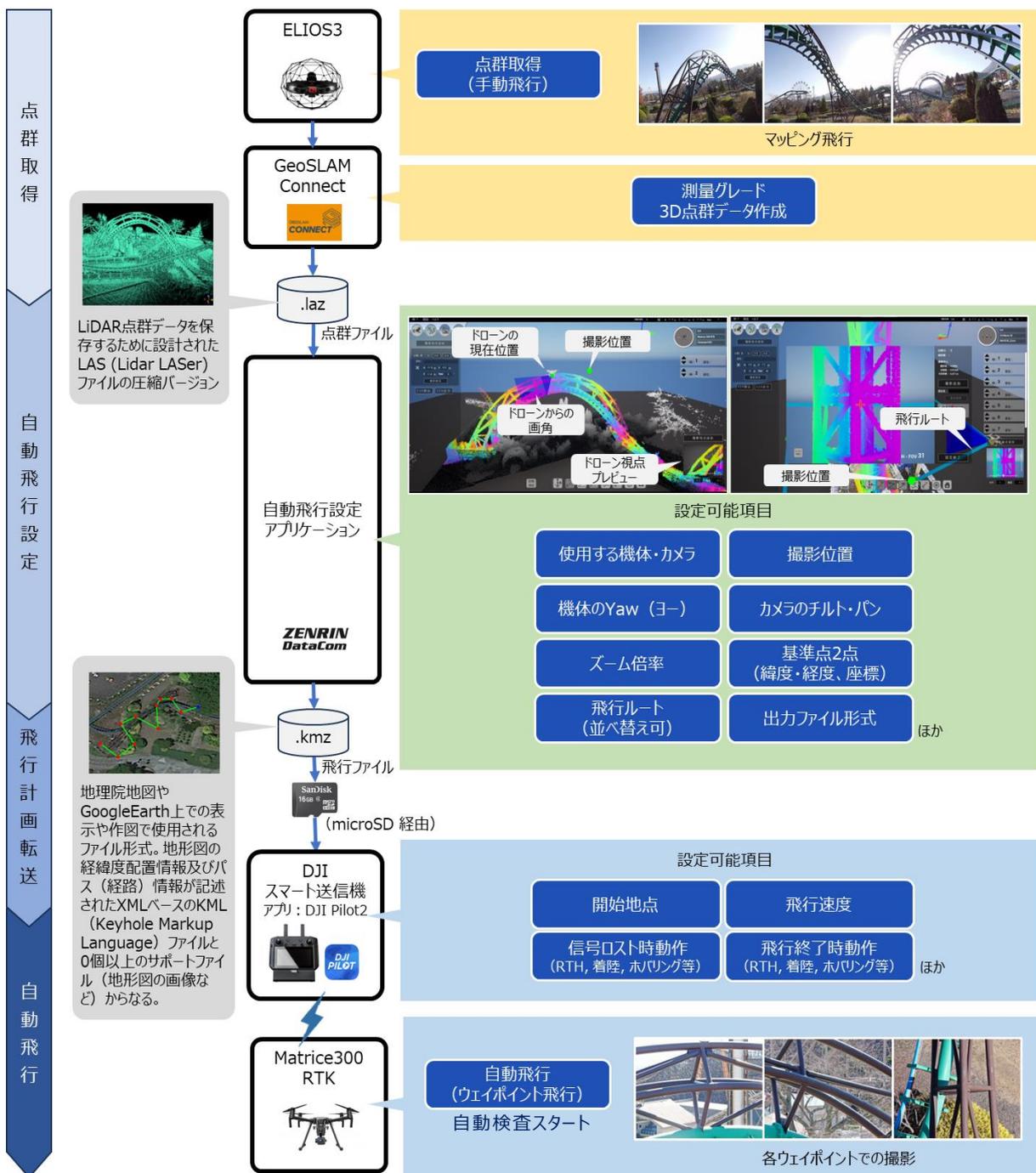
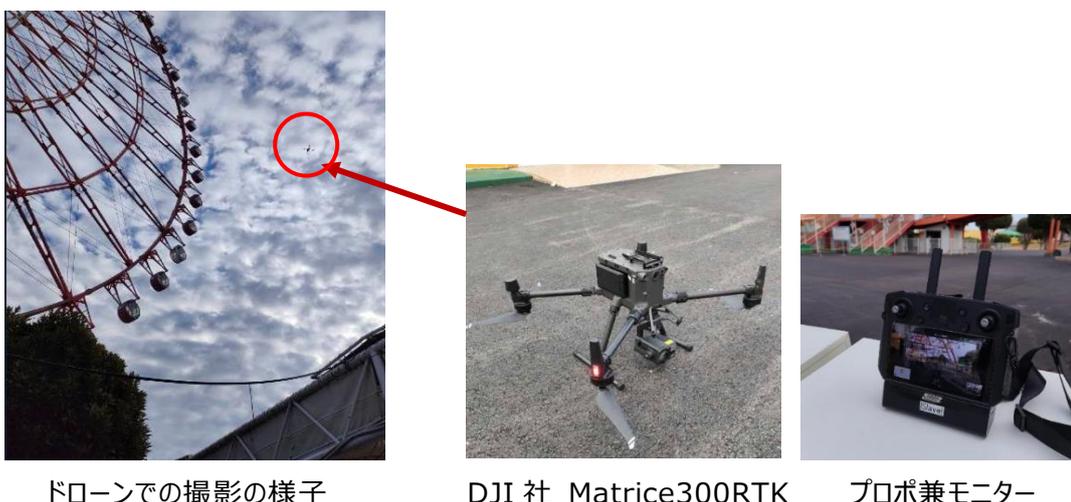


図 8 自動検査に向けた準備作業フロー

(ウ) 観覧車におけるドローン検査の実証

グリーンランドに設置された観覧車（レインボー）について、1.3 で選定した検査項目のうち、構造部分について、検査員立ち会いのもと、手動操作によりドローン（Matrice300RTK）で状態を撮影し、人的検査を同等の精度で確認できるか実証した。

また、準備時間も含め検査に要した時間をストップウォッチで測定するとともに、検査に要した費用等についても調査した。



ドローンでの撮影の様子

DJI 社 Matrice300RTK

プロポ兼モニター

図 9 観覧車におけるドローン検査の様子

2.2 実施場所等

実施した (1)検査員による定期検査実証、(2)ドローンによる定期検査実証の場所、日時を以下に示す。

(1) 検査員による定期検査実証

以下に (ア) 模擬劣化サンプル品に対する人的検査の実証、(イ) コースターにおける検査員による定期検査（人的検査）の実証、(ウ) 観覧車における検査員による定期検査（人的検査）の実証場所、日時を示す。

(ア) 模擬劣化サンプル品に対する人的検査の実証

場所	城島高原パーク（大分県別府市城島高原 1 2 3）	
日時	令和 5 年 12 月 12 日（火） 16:00～20:00	
	令和 5 年 12 月 13 日（水） 12:40～15:00	
実証機種	模擬劣化サンプル品	
タイムスケジュール 令和 5 年 12 月 12 日 （火）	15:00～16:00	実証準備
	16:00～20:00	模擬劣化サンプル品に対するドローン検査実証（日没時の実証）
タイムスケジュール 令和 5 年 12 月 13 日 （水）	12:40～13:00	実証準備
	13:00～15:00	模擬劣化サンプル品に対するドローン検査実証（日中時の実証）

(イ) コースターにおける検査員による定期検査（人的検査）の実証

場所	城島高原パーク（大分県別府市城島高原 1 2 3）	
日時	令和 5 年 10 月 6 日（金） 9:30～17:00	
実証機種	コースター：スーパーL&Sコースター	
タイムスケジュール	9:30～10:30	実証準備
	10:30～11:45	A1 直線部分の実証
	12:00～13:00	A2 スパイラル部分の実証
	14:00～15:00	片付け、記録整理
	15:00～17:00	実証結果を踏まえたドローン実証打ち合わせ



図 10 コースター(スーパーL&Sコースター)

(ウ) 観覧車における検査員による定期検査（人的検査）の実証

場所	グリーンランド（熊本県荒尾市緑ヶ丘）	
日時	令和 5 年 12 月 11 日（月） 8:00～12:30	
実証機種	観覧車：レインボーの実証	
タイムスケジュール	8:00～ 8:30	実証準備
	8:30～11:45	レインボーの構造体（スポーク部）の実証
	11:45～12:30	片付け、記録整理



図 11 観覧車（レインボー）

(2) ドローンによる定期検査の実証

以下に（ア）模擬劣化サンプル品に対するドローン検査の実証、（イ）コースターにおけるドローン検査（手動検査）の実証、（ウ）コースターにおけるドローン検査（自動検査）の実証、（エ）観覧車におけるドローン検査（手動検査）の実証場所、日時を示す。

（ア）模擬劣化サンプル品に対するドローン検査の実証

場所	城島高原パーク（大分県別府市城島高原 1 2 3）	
日時	令和 5 年 12 月 12 日（火） 16:00～20:00	
	令和 5 年 12 月 13 日（水） 12:40～15:00	
実証機種	模擬劣化サンプル品	
タイムスケジュール 令和 5 年 12 月 12 日 （火）	15:00～16:00	実証準備
	16:00～20:00	模擬劣化サンプル品に対するドローン検査 実証（日没時の実証）
タイムスケジュール 令和 5 年 12 月 13 日 （水）	12:40～13:00	実証準備
	13:00～15:00	模擬劣化サンプル品に対するドローン検査 実証（日中時の実証）

（イ）コースターにおけるドローン検査（手動検査）の実証

場所	城島高原パーク（大分県別府市城島高原 1 2 3）	
日時	令和 5 年 11 月 7 日（火） 9:30～17:00	
実証機種	コースター：スーパーL&S コースター	
タイムスケジュール	9:30～10:30	実証準備
	10:30～11:45	A1 直線部分の実証
	13:00～13:15	A2 スパイラル部分の実証準備
	13:15～14:30	A2 スパイラル部分の実証
	14:30～16:30	3D 点群データ取得、記録整理
	16:30～17:00	片付け

（ウ）コースターにおけるドローン検査（自動検査）の実証

場所	城島高原パーク（大分県別府市城島高原 1 2 3）	
日時	令和 5 年 12 月 12 日（火） 9:00～15:00	
	令和 5 年 12 月 13 日（水） 8:30～12:00	
実証機種	コースター：スーパーL&S コースター	
タイムスケジュール 令和 5 年 12 月 12 日 （火）	9:00～10:00	実証準備
	10:00～12:00	A1 直線部分の自動検査実証 （一時雨天により中断）
	13:00～15:00	A1 直線部分、A2 スパイラル部分自動検査実証
タイムスケジュール 令和 5 年 12 月 13 日 （水）	8:30～ 9:00	実証準備
	9:00～12:00	A1 直線部分、A2 スパイラル部分自動検査実証

### (工) 観覧車におけるドローン検査（手動検査）の実証

場所	グリーンランド（熊本県荒尾市緑ヶ丘）	
日時	令和 6 年 1 月 9 日（火） 8:30～14:30	
実証機種	観覧車：レインボー	
タイムスケジュール	8:30～10:00	実証準備
	10:00～12:00	レインボーの構造体（スポーク部）の実証
	13:00～14:00	レインボーの構造体（スポーク部）の実証
	14:00～14:30	片付け、記録整理

## 2.3 実施条件等

(1) 検査員による定期検査の実施条件、(2) ドローンによる定期検査の実施条件をそれぞれ以下に示す。

### (1) 検査員による定期検査の条件

周囲への安全面、検査員の安全を考慮し、以下の条件の場合は検査を見送ることとした。

- ・10 分間の平均風速が 10m/s 以上の風
- ・1 回の降雨量が 50 mm以上の降雨
- ・1 回の降雪量が 25 cm以上の積雪
- ・気象注意報等が発せられ、悪天候となることが予想される場合
- ・上記以外においても作業の実施について危険が予想される場合

### (2) ドローンによる定期検査の条件

ドローンによる定期検査の条件として、(ア) ドローンの飛行条件、(イ) ドローン飛行届の提出について以下に示す。

#### (ア) ドローンの飛行条件

周囲への安全面、ドローンの故障を考慮し、以下の条件の場合は飛行を見送る。

- ・10 分間平均風速が 5m/s 以上の場合
- ・雨、雪、雹（ひょう）などが降り、ドローンの飛行に影響を与える可能性がある場合
- ・飛行経路が十分な視程が確保できない雲や霧の中に入る場合
- ・目視外飛行中に日没となりそうな場合（＝夜間の目視外飛行。個別申請要）  
また、飛行可能状態にあっても以下の場合はその状態が解消されるまで飛行を中止
- ・飛行経路内に第三者が立ち入った場合
- ・飛行前に飛行機やヘリコプターを確認した場合

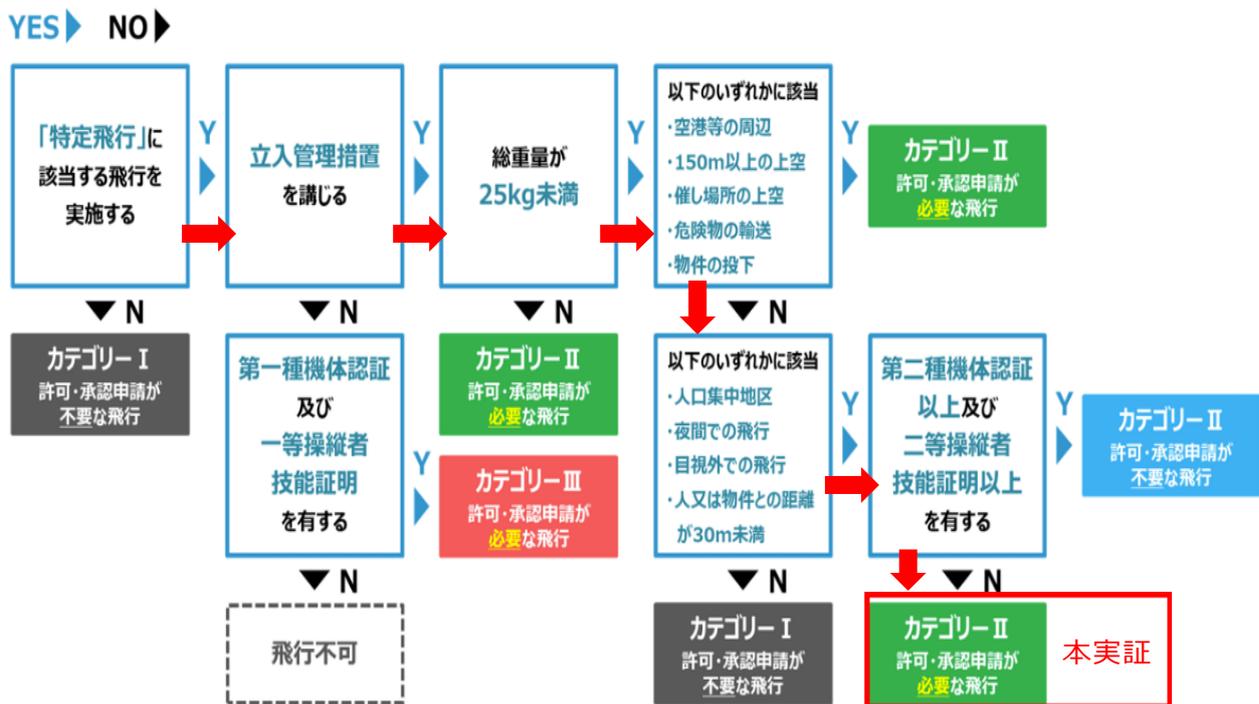
実際に 12 月 12 日に行ったコースターにおけるドローン検査（自動検査）実証の際は、10 分間平均風速が 5m/s 以上で、雨によりドローン機体やカメラに影響を与える可能性があったため、風や雨の状況を見ながら上記飛行条件にあたらぬ時間帯に実証を行った。

（根拠：国土交通省航空局標準マニュアル② 令和 4 年 6 月 20 日版）

#### (イ) ドローン飛行届の提出

今般の実証に際し、図 12 の許可・承認申請要否確認チャートに従って許可・承認申請の要否を判断した。

以下のチャートに従い、許可・承認申請の要否を判断した。



※特定飛行とは「空港周辺」、「高度 150m 以上」、「人口集中地区」、「催し上空」、「目視外飛行」、「夜間飛行」、「人や物から 30m 未滿」、「物件投下」「危険物搭載」での飛行のこと。

図 12 許可・承認申請要否確認チャート

(出典：国土交通省ウェブサイト [https://www.mlit.go.jp/koku/koku\\_fr10\\_000042.html](https://www.mlit.go.jp/koku/koku_fr10_000042.html))

【許可・承認申請の手順】

許可・承認申請について、以下に示すとおり、①特定飛行に該当するか、②包括申請が可能かを判断したうえで、③本実証における申請の要否を判断する。

① 特定飛行に該当するか

本実証では「人や物から 30m 未滿」での飛行となり、構造物と操縦士の位置関係において一時的に「目視外飛行」となる可能性も想定されたため、「特定飛行」に該当すると判断した。

なお、図 12 によれば、第二種機体認証以上と二等操縦者技能証明以上があれば特定飛行であっても許可・承認申請が不要となるが、当該機体認証の前提となる型式認証を受けた機体は令和 5 年 12 月 22 日時点で ACSL 式 PF2-CAT3 型、プロドローン式 PD6B-CAT3 型、ソニー式 ARS-S1 型など数少ない機種に限られており、本実証で使用する 3 機種は該当しない。

② 包括申請が可能か

本実証では実施場所が異なる同様の飛行を複数回行うため、飛行経路を特定しない包括申請が合理的であるが、国土交通省ウェブサイトの包括申請のご案内 (<https://www.mlit.go.jp/koku/content/001490919.pdf>) によれば、以下の (a) から (i) の場合は飛行経路を特定した「個別申請」をしなければならないとあるが、本実証はいずれも該当しないことを確認した。

- (a) 地表または水面から 150m以上の高さの空域における飛行
  - ⇒ 本実証における最大の検査対象は熊本グリーンランドの観覧車レインボー（高さ 105m）であるが、離隔距離を考慮しても 150m に満たない。
- (b) 夜間における目視外飛行
  - ⇒ 模擬劣化サンプル品の実証において、照明機構を持つ機体（ELIOS3）のみを使用し、照明が届く範囲内で目視飛行を行うため該当しない。
- (c) 補助者を配置しない目視外飛行
  - ⇒ 本実証では常に補助者を配置するため該当しない。
- (d) 研究開発目的での飛行
- (e) 趣味目的での飛行
  - ⇒ 本実証の主旨を考えても該当しない。
- (f) 催し場所の上空における飛行
- (g) 空港等周辺における飛行
- (h) 人又は家屋の密集している地域の上空における夜間飛行
- (i) 人又は家屋の密集している地域の上空で夜間における目視外飛行
  - ⇒ 本実証の実施場所や地域を考えても該当しない。

③ 本実証における申請

既述した①②の内容により、本実証におけるドローンの飛行は特定飛行に該当するが、必要となる許可・承認申請は包括申請で対応可能であるとの判断に至った。よって実際にドローン情報基盤システム（DIPS2.0）を通じて包括申請を行い、実証実験の準備に入った。

### 3 技術実証の結果

#### 3.1 結果の評価ポイント・方法

1 技術実証の概要及び 2 技術実証内容の詳細で示した (1) 検査員による定期検査の実施内容の調査、(2) 遊戯施設におけるドローン検査の技術実証、(3) 実証結果分析・整理を進めるにあたり、実証の目的や対象業務内容等を踏まえて、3 技術実証の結果では表 4 に示すとおり、本技術実証の対象となる 9 つの定期検査項目に対して (1) 検査精度、(2) 安全性、(3) 効率化の 3 つの観点からドローンによる撮影画像で人的検査と同等以上の判断ができるか評価し、まとめることとした。

表 4 評価ポイントの全体概要

検査項目	検査事項	(1) 検査精度	(2) 安全性	(3) 効率化
一 構造物 (五) 構造物	構造部材及び補助部材の取付けの状況	ドローンによる撮影画像で人的検査と同等以上の検査ができること	ドローンの検査に使用する際の飛行安全性が確保できること	人的検査とドローンによる検査で、検査時間、費用面から効率化ができること
	構造部材の腐食の状況			
	補助部材の腐食の状況			
	構造部材の変形、偏位、き裂及び破損の状況			
	構造部材の接合部分の緩み及びき裂の状況			
二 軌道部分 (一) 軌条、軌道、水路及び滑走路	軌条、軌道及び水路のき裂及び変形の状況			
	軌条、軌道及び水路の錆及び腐食の状況			
	軌条、軌道及び水路の接合部の緩み及びき裂の状況			
九 電気設備 (四) 避雷設備	突針、支持金物、引下げ導線等の取付けの状況			

#### (1) 検査精度の評価ポイント・方法

次の (ア) 模擬劣化サンプル品の実証の方法に基づき、ドローンのカメラに要求される性能を明らかにし、その上で (イ) コースターにおける定期検査の実証方法、(ウ) 観覧車における定期検査の実証方法に関して当該要求性能を有するドローンによる撮影画像で、検査員が定期検査 (人的検査) と同等に視認し、検査及び判定ができるか評価した。

#### (ア) 模擬劣化サンプル品の実証の方法

コースターや観覧車など高所での検査が必要な遊戯施設の構造部分等を模した茶、白、黒の 3 色の構造物サンプル品にそれぞれ人工的にき裂や錆、緩み確認マーク (合いマーク) のズレ等を施した「模擬劣化サンプル品」を用いて、検査員が通常どおり人的検査をする場合のき裂や錆等の見え方や目視可能な距離等を確認し、ドローンにおける撮影距離や倍率などカメラに要求される性能について確認する。

その方法として、画像からの視認性を示す指標値のひとつとして分解能がある。詳細は、以下①分解能に示すが、分解能とは画像を構成する最小単位、すなわち画素 (単位は pixel。) ひとつが写し出している対象物の範囲 (正方形) を示す値であり、単位は mm / pixel である (mmは写し出している対象物の正方形 1 辺の長さ。)。この数値が小さいほどき

め細やかに対象物を写し出していることになり、ゆえに視認性が向上する。したがって人的検査と同等以上の精度で撮像を行うため、この数値の必要最低ライン（以下「必要分解能」という。）を検討する。

また、カメラの視野角（FOV：Field of View）も人的検査と同等以上の精度で撮像を行うために必要な性能要件のひとつと考える。詳細は、以下②視野角（FOV）に示す。

### ① 分解能

分解能は使用するカメラのスペック（センサーサイズ、焦点距離、総画素数）と離隔（撮影）距離で決まるが、離隔（撮影）距離に比例し、焦点距離と総画素数に反比例する。したがって総画素数が小さく、焦点距離が短い単焦点レンズなどの場合は、必要分解能を満たすために離隔（撮影）距離を小さくとる必要があり、その度合によっては対象物への衝突や磁界の影響のリスクが生じるため注意が必要である（図 13 参照。）。

なお、ELIOS3 に標準搭載されたカメラは図 13 で示されている 3 機種の中で最も焦点距離が短く、総画素数も少ないが、至近距離で撮影を行うための対策が機体に施されている（ケージ、磁界耐性）。分解能に関する実証方法を以下(a)に示す。

#### (a) 分解能に関する実証方法

遊戯施設の検査における必要分解能を導き出すため、図 14 で示した模擬劣化サンプル品と 3 種類の機体を用いて下記の要領で実証を行った。

「劣化部位」、「母材の色」、「使用機体（≒カメラのスペック）」、「日中／夜間」、「分解能」の 5 つの観点からそれぞれの選択肢を組み合わせることで撮像パターンを定義する。

既述のように分解能はカメラのスペックと離隔（撮影）距離で決まるため、機体（カメラ）ごとに離隔（撮影）距離で調整して下記 1.0 から 0.1 mm/pixel の 6 種類に固定する。

なお、夜間は対応機構を有する ELIOS3 のみの実施となる。よって撮像パターンは、計 216 通りとなる。

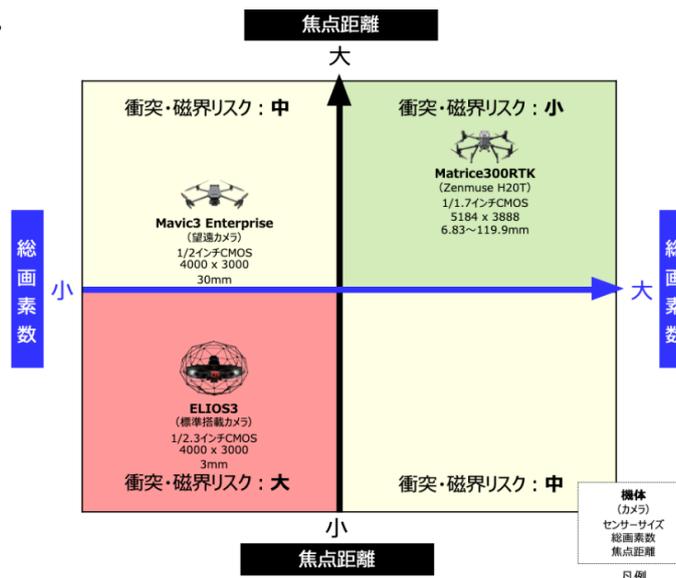
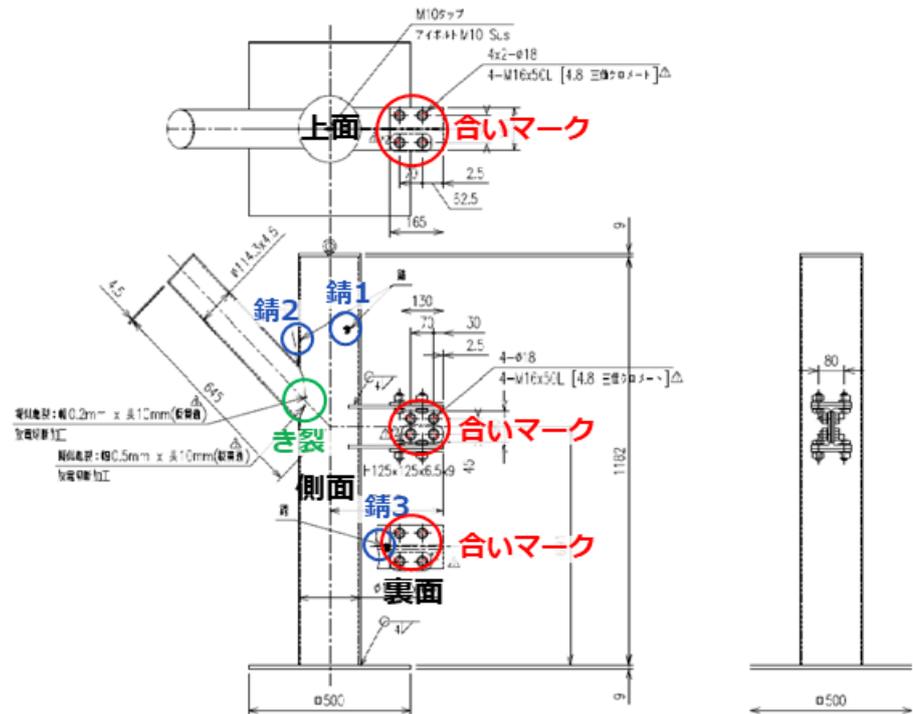


図 13 必要分解能を満たすために生じる衝突・磁界リスク

## 模擬劣化サンプル品：劣化部位、母材の色の定義

母材の色



## 機体 (カメラ)



Matrice300RTK  
(Zenmuse H20T)



Mavic3  
(標準搭載カメラ)



ELIOS3  
(標準搭載カメラ)

センサーサイズ	1/1.7インチCMOS (ズームカメラ)	1/2インチCMOS (望遠カメラ)	1/2.3インチCMOS
画素数	5184 x 3888	4000 x 3000	4000 x 3000
焦点距離(mm)	6.83~119.9	30 (固定)	3

図 14 実証で使用する機材等

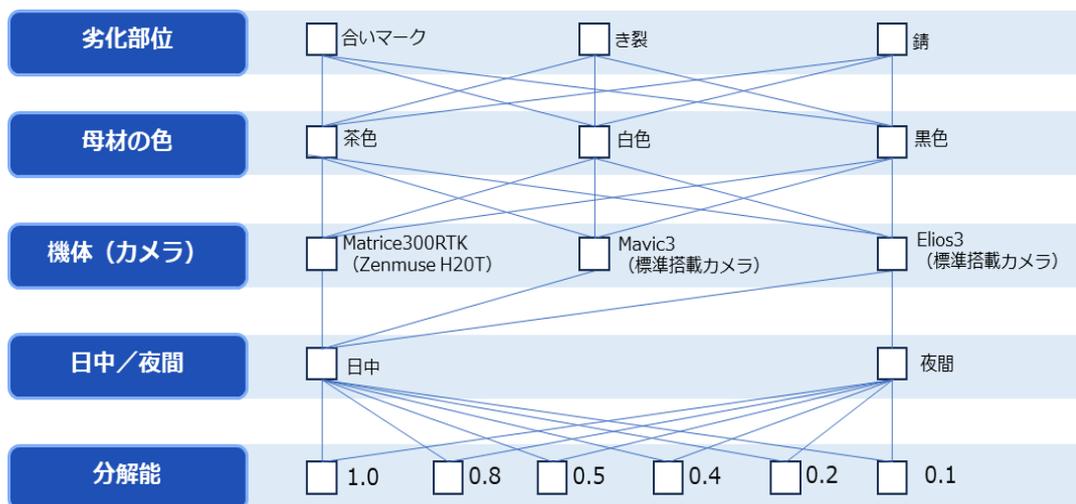


図 15 5つの観点からの撮像パターン

「劣化部位」、「母材の色」、「使用機体（≒カメラのスペック）」、「日中/夜間」の4つの組み合わせによって必要分解能が異なることが予想される。

各パターンの撮影終了後、人的検査の検査員が各画像を見ながら劣化部位を適切に判断できる分解能の最低ライン、すなわち必要分解能を見つけ出すこととした。

## ② 視野角 (FOV)

視野角は、画質というよりはアングルや写る範囲に関する問題であると言え、ジンバルの可動範囲との兼ね合いで考慮すべき要件である。特にボルトや劣化部位が構造物の下面（裏面）にある場合、ドローンは構造物の下に入り込んで見上げる状態で撮像しなければならないが、仰角を大きくとれないカメラでは適切なアングルで画像が撮れない場合がある。

一般的にドローンは上空から地上（下方）を撮影することを想定しているため、仰角を大きくとれないカメラを搭載している機種も多い。視野角の実証方法を以下(a)に示す。

### (a) 視野角 (FOV) の実証方法

図 14 で示されている模擬劣化サンプル品の構造部材（梁を模した部分）下面のボルト（合いマーク）に対し、適切なアングルで撮像できるかどうかを実証する。

なお、実証対象の機体は構造部材（梁を模した部分）の下に入り込める機体サイズを持つ Mavic3 と ELIOS3 とした。

## (イ) コースターにおける定期検査の実証方法

以下に①検査員による定期検査（人的検査）の方法、②ドローンによる検査（手動検査）の方法、③ドローンによる検査（自動検査）の方法を示す。

### ① 検査員による定期検査（人的検査）の方法

#### (a) 取付け（緩み確認マーク（合いマーク）のズレ）の状況の検査

【構造部分（構造物）】

【平成 20 年国土交通省告示第 284 号別表：一（五）】

・構造部材及び補助部材の取り付けの状況

検査方法：テストハンマーによる打検又は目視による緩み確認マークの位置の確認その他ナットの緩みを確認できる方法により確認する。

判定基準：構造部材又は補助部材の取付けが堅固でないこと。※<sup>1</sup>

・構造部材の接合部分の緩み及びき裂の状況

検査方法：き裂を目視により確認するとともに、テストハンマーによる打検又は目視による緩み確認マークの位置の確認その他ナットの緩みを確認できる方法により確認する。

判定基準：接合部に緩みがあること又は溶接部にき裂があること。※<sup>1</sup>

【軌道部分（軌条、軌道、水路及び滑走路）】

[平成 20 年国土交通省告示第 284 号別表：二（一）]

・軌条、軌道及び水路の接合部の緩み及びき裂の状況

検査方法：き裂を目視により確認するとともに、テストハンマーによる打検又は目視による緩み確認マークの位置の確認その他ナットの緩みを確認できる方法により確認する。

判定基準：接合部に緩みがあること又は溶接部にき裂があること。※<sup>1</sup>

【電気設備（避雷設備）】

[平成 20 年国土交通省告示第 284 号別表：九（四）]

・突針、支持金物、引下げ導線等の取付けの状況

検査方法：目視により確認する。

判定基準：突針、支持金物、引下げ導線等の取付けが堅固でないこと。

(b) 錆・腐食の状況の検査

【構造部分（構造物）】

[平成 20 年国土交通省告示第 284 号別表：一（五）]

・構造部材の腐食の状況

検査方法：目視により確認し、腐食が認められた場合にあっては、腐食を除去して部材厚さが最も薄い箇所を測定する。

判定基準：要重点点検：著しい錆又は腐食があること。

要是正：腐食により部材の残存厚みが設置時の厚みの 90% 未満であること。※<sup>2</sup>

・補助部材の腐食の状況

検査方法：目視により確認し、腐食が認められた場合にあっては、腐食を除去して部材厚さが最も薄い箇所を測定する。

判定基準：要重点点検：著しい錆又は腐食があること。

要是正：腐食により部材の残存厚みが設置時の厚みの 90% 未満であること。※<sup>2</sup>

- ・構造部材の変形、偏位、き裂及び破損の状況  
検査方法：目視により確認する。  
判定基準：構造部材に変形、偏位、き裂又は破損があること。

【軌道部分（軌条、軌道、水路及び滑走路）】

[平成 20 年国土交通省告示第 284 号別表：二（一）]

- ・軌条、軌道及び水路のき裂及び変形の状況  
検査方法：目視により確認する。  
判定基準：き裂又は変形があること。
- ・軌条、軌道及び水路の錆及び腐食の状況  
検査方法：目視により確認し、腐食が認められた場合にあっては、腐食を除去して部材厚さが最も薄い箇所を測定する。  
判定基準：要重点点検：著しい錆又は腐食があること。  
要是正：腐食により部材の残存厚みが設置時の厚みの 90% 未満であること。<sup>※2</sup>

② ドローンによる検査（手動検査）の方法

(a) 取付け（緩み確認マーク（合いマーク）のズレ）の状況の検査

【構造部分（構造物）】

[平成 20 年国土交通省告示第 284 号別表：一（五）]

- ・構造部材及び補助部材の取り付けの状況  
検査方法：ドローンにより構造部材及び補強部材の緩み確認マークを撮影する。  
判定方法：画像において緩み確認マーク（合いマーク）の確認をする。
- ・構造部材の接合部分の緩み及びき裂の状況  
検査方法：ドローンにより構造部材の接合部分の緩み確認マークを撮影する。  
判定方法：画像において緩み確認マーク（合いマーク）の確認をする。

【軌道部分（軌条、軌道、水路及び滑走路）】

[平成 20 年国土交通省告示第 284 号別表：二（一）]

- ・軌条、軌道及び水路の接合部の緩み及びき裂の状況  
検査方法：ドローンにより軌条、軌道及び水路のき裂及び変形を撮影する。  
判定方法：画像においてき裂や変形を確認する。

【電気設備（避雷設備）】

[平成 20 年国土交通省告示第 284 号別表：九（四）]

- ・突針、支持金物、引下げ導線等の取付けの状況  
検査方法：ドローンにより突針、支持金物、引下げ導線等の取付け部分の緩み確認マークを撮影する。  
判定方法：画像において緩み確認マーク（合いマーク）の確認をする。

(b) 錆・腐食の状況の検査

【構造部分（構造物）】

[平成 20 年国土交通省告示第 284 号別表：一（五）]

・構造部材の腐食の状況

検査方法：ドローンにより構造部材の腐食を撮影する。

判定基準：画像において腐食の確認をする。

・補助部材の腐食の状況

検査方法：ドローンにより補助部材の腐食を撮影する。

判定基準：画像において腐食の確認をする。

・構造部材の変形、偏位、き裂及び破損の状況

検査方法：ドローンにより構造部材の変形、偏位、き裂及び破損を撮影する。

判定基準：画像において構造部材の変形、偏位、き裂及び破損の確認をする。

【軌道部分（軌条、軌道、水路及び滑走路）】

[平成 20 年国土交通省告示第 284 号別表：二（一）]

・軌条、軌道及び水路のき裂及び変形の状況

検査方法：目視により確認する。

判定基準：き裂又は変形があること。

・軌条、軌道及び水路の錆及び腐食の状況

検査方法：ドローンにより軌条、軌道及び水路のき裂及び変形を撮影する。

判定基準：画像においてき裂や変形を確認する。

④ ドローンによる検査（自動検査）の方法

自動検査の方法は、②と同等の内容を行い、自動検査特有の内容として以下を評価する。

- ・指定したルートを正確に飛行できること。
- ・構造物や検査対象に接触せず安全に飛行できること。

(ウ) 観覧車における定期検査の実証方法

以下に①検査員による定期検査（人的検査）の方法、②ドローンによる検査の方法を示す。

① 検査員による定期検査（人的検査）の方法

(a) 取付け（緩み確認マーク（合いマーク）のズレ）の状況の検査方法

【構造部分（構造物）】

[平成 20 年国土交通省告示第 284 号別表：一（五）]

・構造部材及び補助部材の取付けの状況

検査方法：テストハンマーによる打検又は目視による緩み確認マークの位置の確認その他ナットの緩みを確認できる方法により確認する。

判定基準：構造部材又は補助部材の取付けが堅固でないこと。<sup>※1</sup>

- ・構造部材の接合部分の緩み及びき裂の状況

検査方法：き裂を目視により確認するとともに、テストハンマーによる打検又は目視による緩み確認マークの位置の確認その他ナットの緩みを確認できる方法により確認する。

判定基準：接合部に緩みがあること又は溶接部にき裂があること。※<sup>1</sup>

【電気設備（避雷設備）】

[平成 20 年国土交通省告示第 284 号別表：九（四）]

- ・突針、支持金物、引下げ導線等の取付けの状況

検査方法：目視により確認する。

判定基準：突針、支持金物、引下げ導線等の取付けが堅固でないこと。

(b) 錆・腐食の状況の検査方法

【構造部分（構造物）】

[平成 20 年国土交通省告示第 284 号別表：一（五）]

- ・構造部材の腐食の状況

検査方法：目視により確認し、腐食が認められた場合にあっては、腐食を除去して部材厚さが最も薄い箇所を測定する。

判定基準：要重点点検：著しい錆又は腐食があること。

要是正：腐食により部材の残存厚みが設置時の厚みの 90% 未満であること。※<sup>2</sup>

- ・補助部材の腐食の状況

検査方法：目視により確認し、腐食が認められた場合にあっては、腐食を除去して部材厚さが最も薄い箇所を測定する。

判定基準：要重点点検：著しい錆又は腐食があること。

要是正：腐食により部材の残存厚みが設置時の厚みの 90% 未満であること。※<sup>2</sup>

- ・構造部材の変形、偏位、き裂及び破損の状況

検査方法：目視により確認する。

判定基準：構造部材に変形、偏位、き裂又は破損があること。

② ドローンによる検査の方法

(a) 取付け（緩み確認マーク（合いマーク）のズレ）の状況の検査方法

【構造部分（構造物）】

[平成 20 年国土交通省告示第 284 号別表：一（五）]

- ・構造部材及び補助部材の取り付けの状況

検査方法：ドローンにより構造部材及び補強部材の緩み確認マークを撮影する。

判定方法：画像において緩み確認マーク（合いマーク）の確認をする。

- ・構造部材の接合部分の緩み及びき裂の状況

検査方法：ドローンにより構造部材の接合部分の緩み確認マークを撮影する。

判定方法：画像において緩み確認マーク（合いマーク）の確認をする。

【電気設備（避雷設備）】

[平成 20 年国土交通省告示第 284 号別表：九（四）]

- ・突針、支持金物、引下げ導線等の取付けの状況

検査方法：ドローンにより突針、支持金物、引下げ導線等の取付け部分の緩み確認マークを撮影する。

判定方法：画像において緩み確認マーク（合いマーク）の確認をする。

(b) 錆・腐食の状況の検査方法

【構造部分（構造物）】

[平成 20 年国土交通省告示第 284 号別表：一（五）]

- ・構造部材の腐食の状況

検査方法：ドローンにより構造部材の腐食を撮影する。

判定基準：画像において腐食の確認をする。

- ・補助部材の腐食の状況

検査方法：ドローンにより補助部材の腐食を撮影する。

判定基準：画像において腐食の確認をする。

- ・構造部材の変形、偏位、き裂及び破損の状況

検査方法：ドローンにより構造部材の変形、偏位、き裂及び破損を撮影する。

判定基準：画像において構造部材の変形、偏位、き裂及び破損の確認をする。

※1：本実証においては、緩み確認マーク（合いマーク）等により目視確認できる場合に限る。

※2：本実証においては、腐食を除去し、部材厚さを計測する検査は除く（腐食の確認のみ）。

(2) 安全性の評価ポイント・方法

1.3 で示した 9 つの検査項目（内容は（1）に同じ。）に関して、検査員が目視にて行っている検査をドローンによる画像確認に代替が可能か否かを明確にすることで、安全に関わる検査員の高所作業等のリスクについて検討した。

また、ドローンを飛行する上で、以下の安全性に関するリスク対策を実施し、安全性を確保した上で行う必要がある。本実証においても以下を遵守した上で実施した。

(a) 屋外でのドローン飛行において通常考慮する点

- ・ 場所の確保・周辺状況を十分に確認し、第三者の上空では飛行させない。
- ・ 飛行場所に第三者の立ち入り等が生じた場合には速やかに飛行を中止する。
- ・ 10 分間の平均風速が 5m/s 以上の状態では飛行させない。
- ・ 雨の場合や雨になりそうな場合は飛行させない。
- ・ 十分な視程が確保できない雲や霧の中では飛行させない。

- 飛行させる際には、安全を確保するために必要な人数の補助者を配置し、相互に安全確認を行う体制をとる。
  - 補助者は、飛行範囲に第三者が立ち入らないよう注意喚起を行う。
  - 補助者は、飛行経路全体を見渡せる位置において、ドローンの飛行状況及び周囲の気象状況の変化等を常に監視し、操縦者が安全に飛行させることができるよう必要な助言を行う。
  - 夜間の目視外飛行は行わない。
- (b) 遊戯施設の検査においてドローンを使用する際、特に考慮する点
- 複雑な構造物が多いため、単純な構造物よりも衝突リスクが高い。よってケージを持つ ELIOS3 のような耐衝突性がない機体を使用する場合は風の影響などを考慮し、離隔距離を十分にとって飛行させること。
  - 鉄骨造の構造物が多いため磁界の影響を受けやすい。耐磁界性のない機体を使用する場合は鉄骨造の構造物への接近のしすぎに注意する。
  - 観覧車のような大きな構造物を検査対象とする場合、飛行ルートが高度 150m という法的制限に抵触しないかどうかを確認する。

### (3) 効率化の評価ポイント・方法

1.3 で示した 9 つの検査項目について、準備時間も含めて、検査員による検査時間とドローンを使用した際の検査時間、費用（一部人工比較）を比較し、どの程度効率化できるか評価した。

## 3.2 結果及び評価・分析

3.1 で示した (1) 検査精度の評価・分析、(2) 安全性の評価分析、(3) 効率化の評価・分析に係る評価ポイントに関して、実証結果及び実証結果を踏まえた評価を以下に示す。

### (1) 検査精度の評価・分析

以下に (ア) 模擬劣化サンプル品における結果、(イ) コースターにおける定期検査の実証結果、(ウ) 観覧車における定期検査の実証結果を示す。

#### (ア) 模擬劣化サンプル品における実証結果

今回の実証では、実際に実証を行う遊戯施設の構造部材等の緩みや腐食、変形、偏位、き裂及び破損がないかを検査員が目視等で実施しているものと同等以上の水準の精度の画像が、ドローンを使って撮影した画像で得られることを実証した。

その場合の撮影距離や倍率など、カメラに要求される性能については、模擬劣化サンプル品を使って、実証結果等をもとに、現場での状況を考慮したうえで判断した。

また、遊戯施設定期検査告示では、近接目視を行うための距離など、目視検査を行う上での詳細な方法までは示されておらず、検査員の判断に委ねられているがため、本実証においては、JIS Z 3090『溶融溶接継手の外観試験方法』に記載されている「600 mm以内」を目安として実証することとした。

### ① 検査員による検査方法等の実証結果

模擬劣化サンプル品に以下のように施したき裂や錆、ボルトの緩み（合いマークのズレ）を 60 cm離れた場所から目視確認（近接目視）を行ったところ全て確認することができた。

・き裂：幅 0.2 mmと 0.5 mmで各々長さ 10 mmの 2 種類

・錆：25 mm×20 mm 内に収まる程度の赤錆

※基本的に「腐食」とは板厚減少等を伴う錆の発生をとして扱われ、腐食の視認性は十分と考えられるが、「防食機能の劣化」である板厚減少等を伴わないと見なせる程度の軽微な錆を施した。

・合いマークは、ボルト締結後に施し、その後 15 度ナットを緩めることでずらした。

・茶、白、黒の三体に、上述の模擬欠陥を同様に施した。



図 16 検査員による模擬劣化サンプル品の目視確認の様子

### ② ドローンによる実証結果

人的検査と同様に、模擬劣化サンプル品に施したき裂や錆、ボルトの緩み（合いマークのズレ）を確認するために必要な分解能、視野角について確認した結果を以下、(a)必要分解能の実証結果、(b)視野角の実証結果に示す。

#### (a) 必要分解能の実証結果

ボルトの合いマークのズレ、き裂、錆に関して撮影した画像により目視検査と同等の判断が可能で分解能はどの程度か、図 17 から図 28 に示す 216 パターンの画像を検査員が全て確認し、判別した結果、合いマークのズレ、き裂、錆の全てを画像にて確認するためには 0.1 から 0.5 mm/pixel の分解能が推奨されることが分かった。

また、表 5 に示すとおり、合いマークのズレ、き裂、錆の視認性を比較すると錆、合いマークのズレ、き裂の順に判別しにくくなる傾向があることと、検査を行う時間帯にもより、必要な分解能が異なることが分かった。このことからき裂を確認するには小さい分解能、錆・腐食を確認するには大きい分解能とすることも合理的である。

一方でき裂が発錆した際には、塗膜が割れ雨水により錆が発生し錆汁が流れることもある。よって上記分解能より大きくても錆により視認性は高くなることが本実証の結果から考えられる。

なお、白色はき裂の視認性が下がり、黒色は錆の視認性が下がることから、検査を行う構造体の色や光を考慮して露出を調整する必要がある。

【分解能別撮像結果】

・Matrice300 RTK 日中 合いマーク

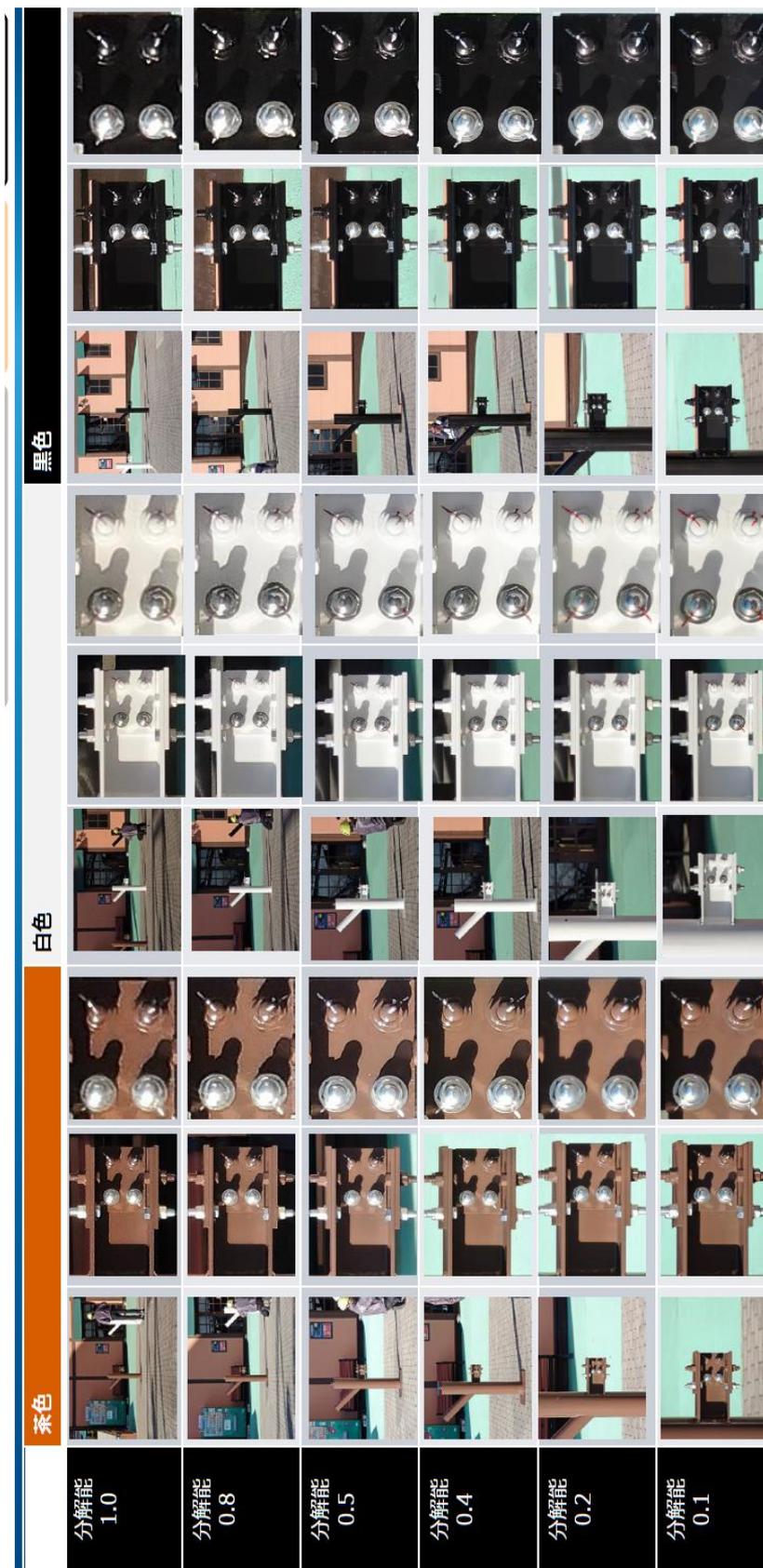


図 17 Matrice300 RTK 日中 合いマーク

・Mavic3 日中 合いマーク

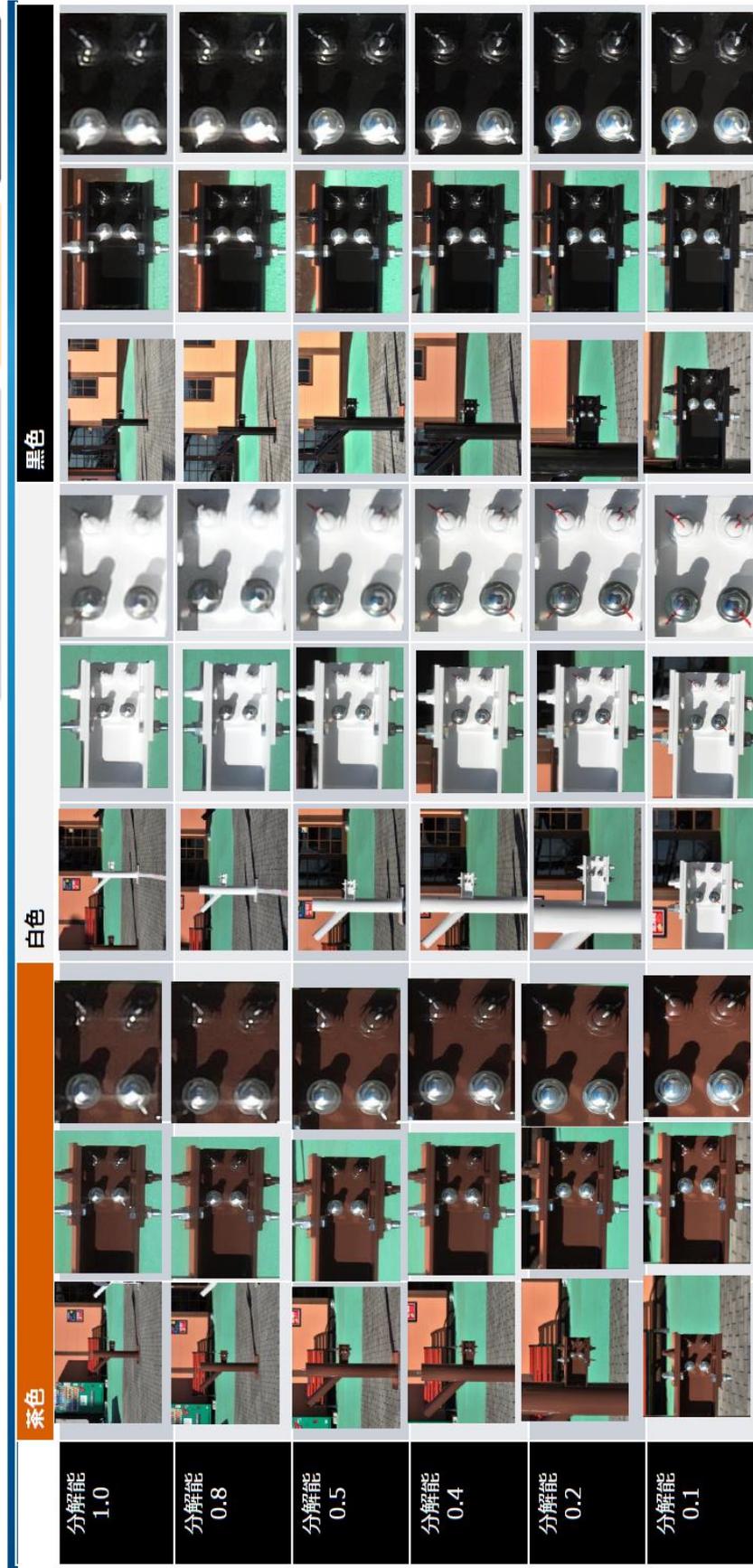


図 18 Mavic3 日中 合いマーク

・ELIOS3 日中 合いマーク

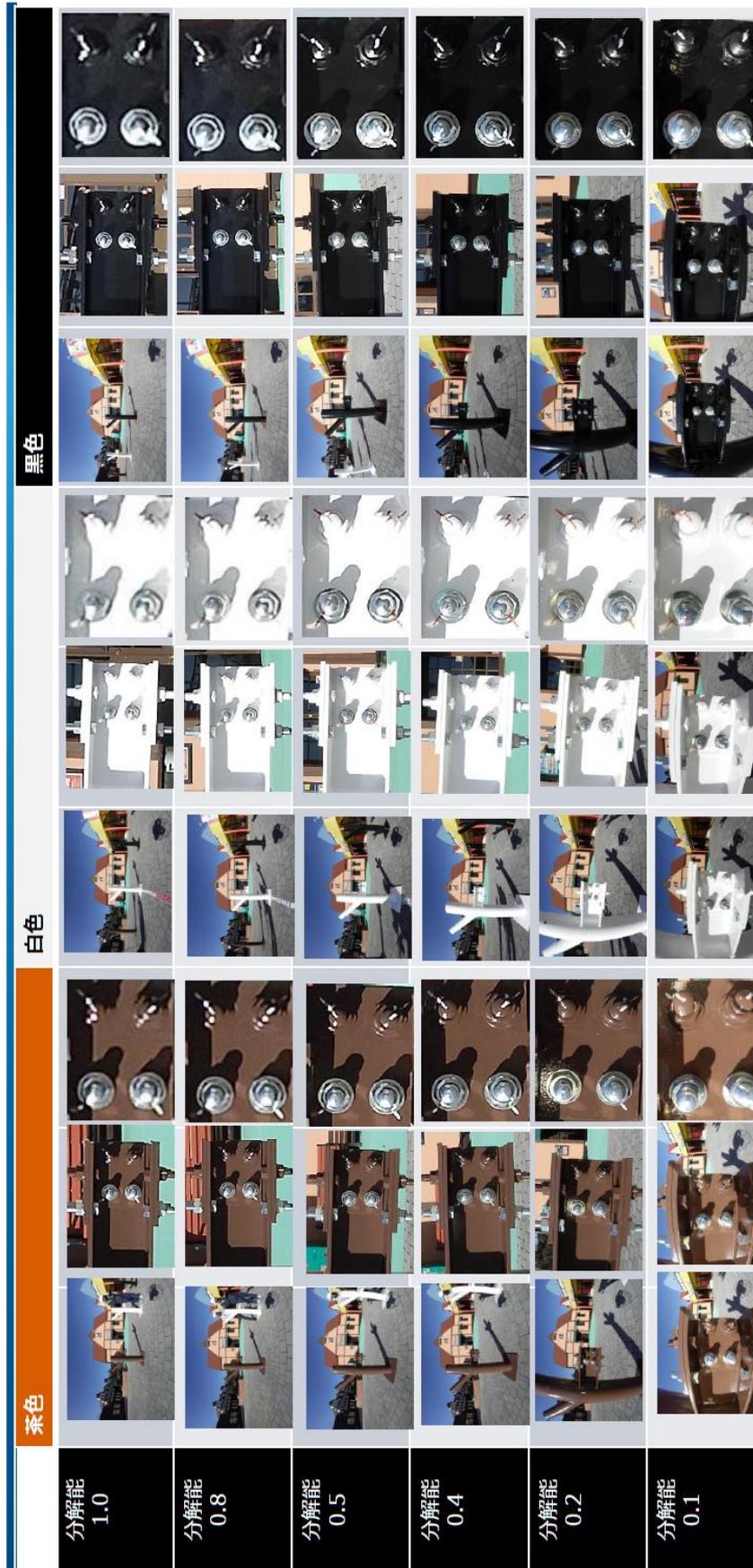


図 19 Elios3 日中 合いマーク

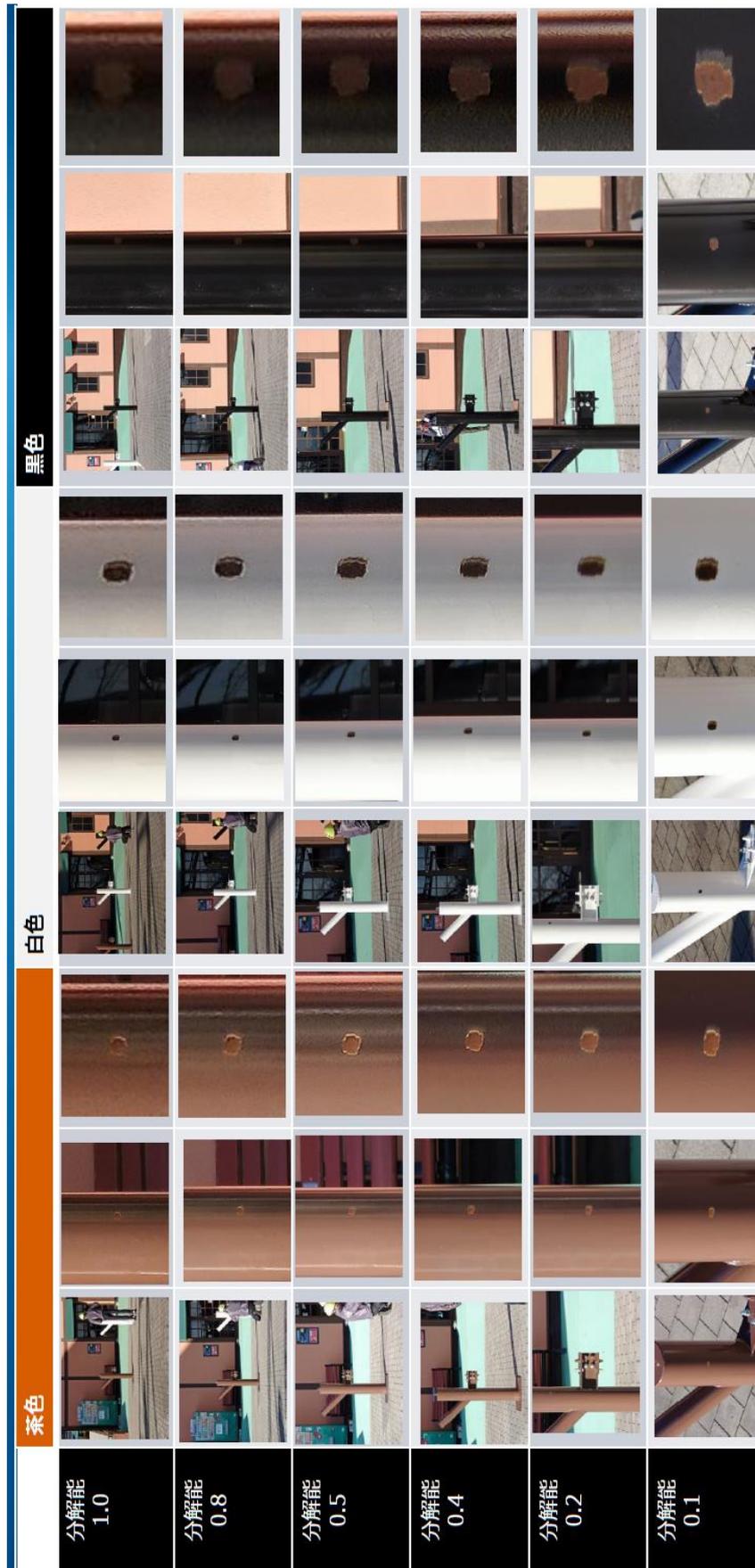


图 20 Matrice300 RTK 日中 鏞

•Mavic3 日中 鏽

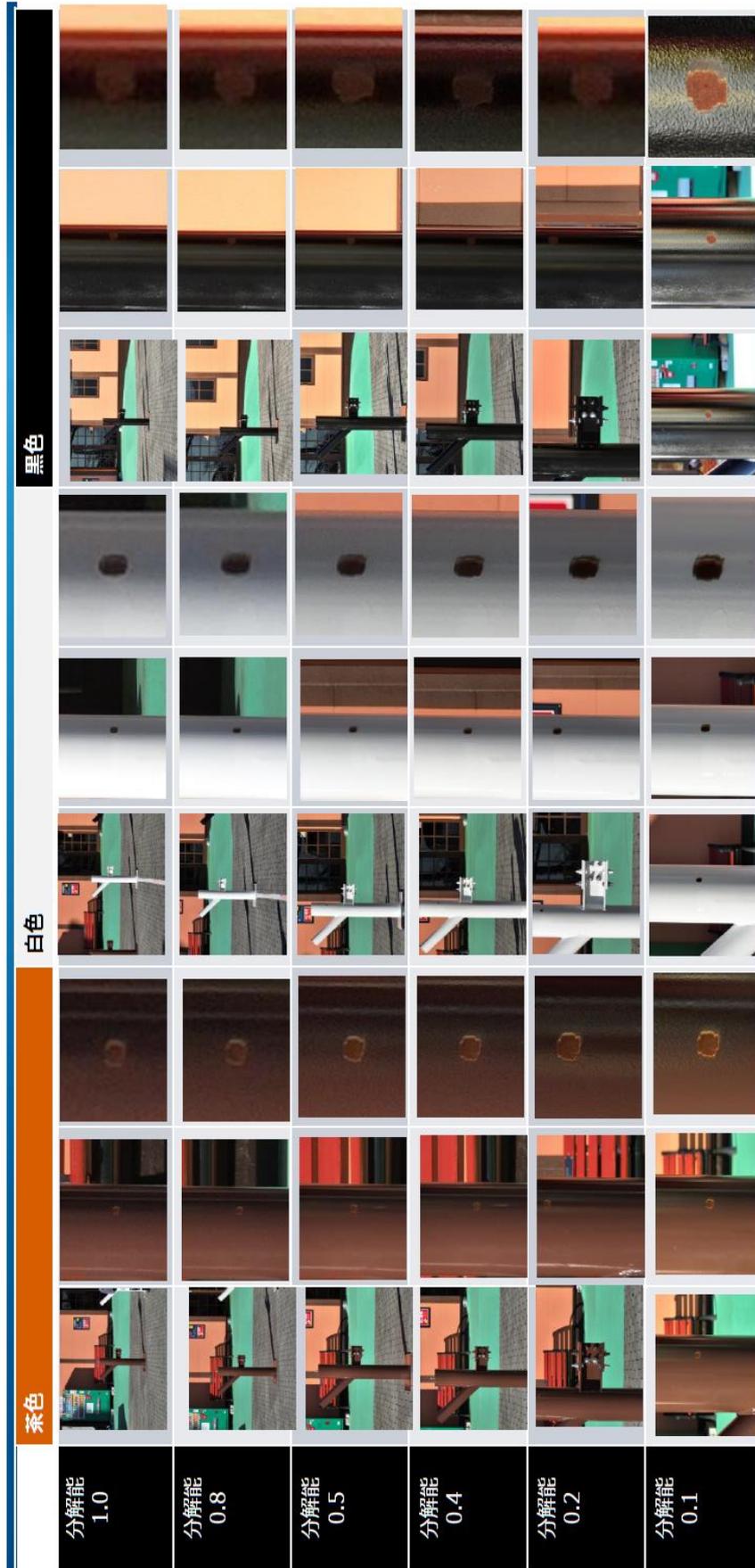


图 21 Mavic3 日中 鏽

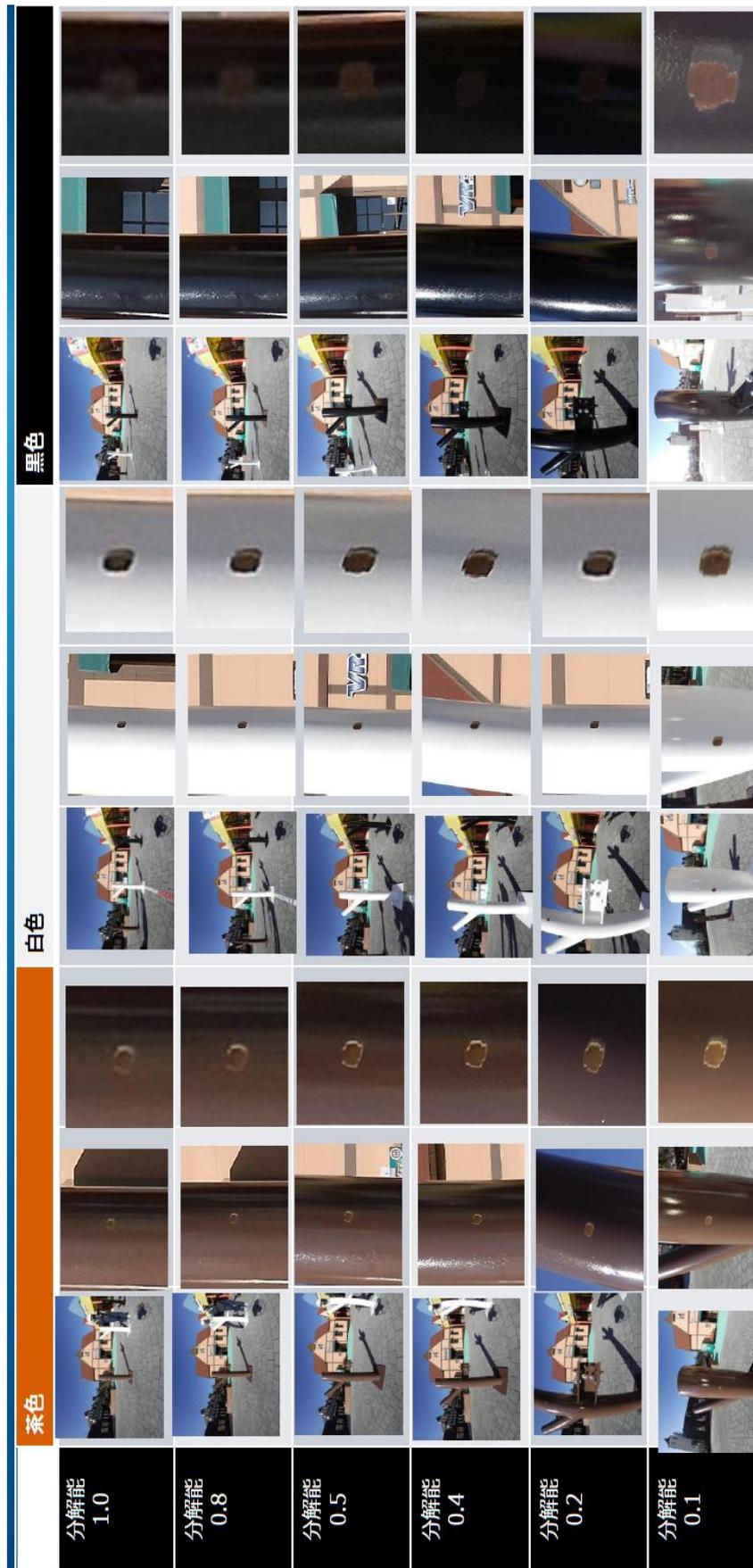


図 22 Elios3 日中 錆

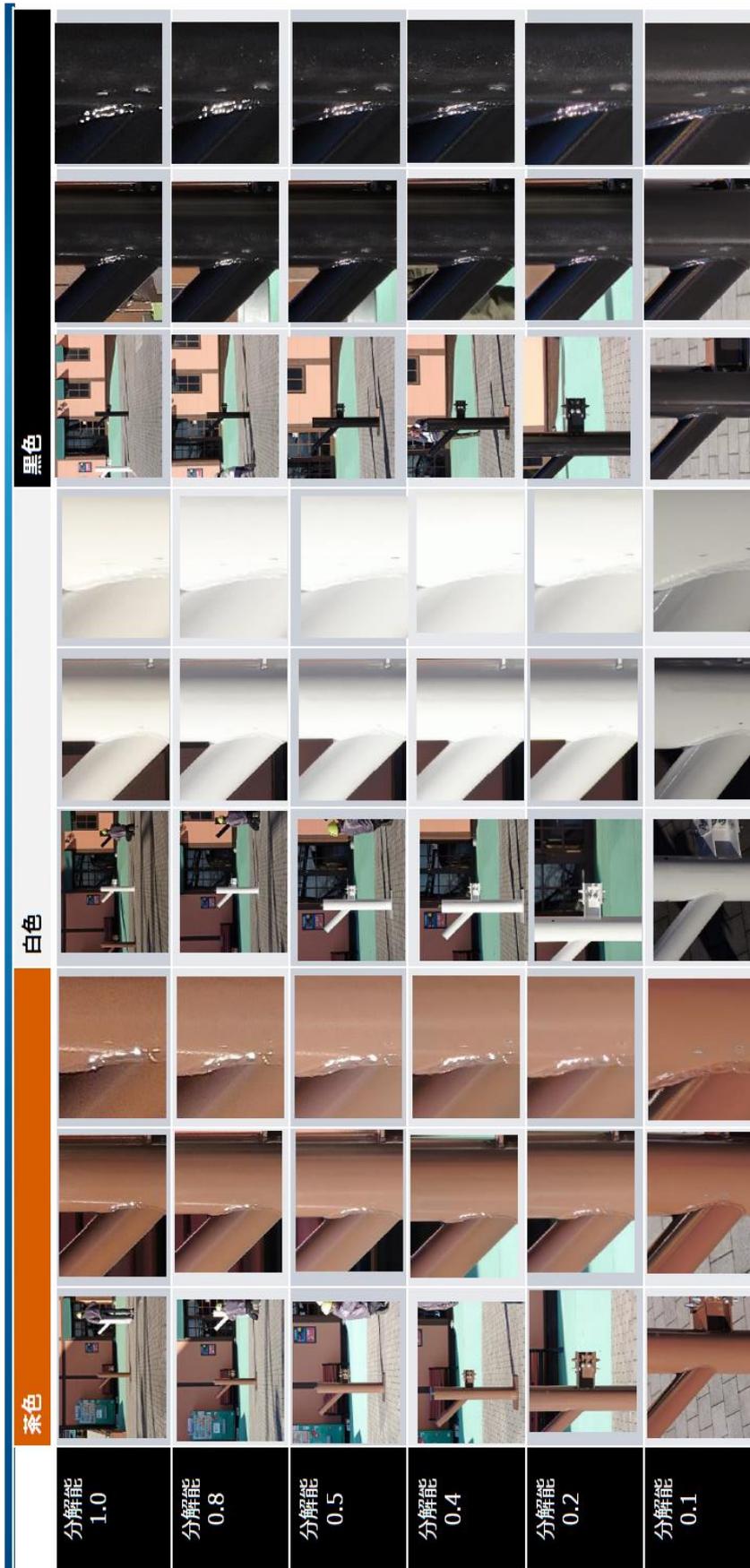


図 23 Matrice300 RTK 日中 き裂

・Mavic3 日中 き裂

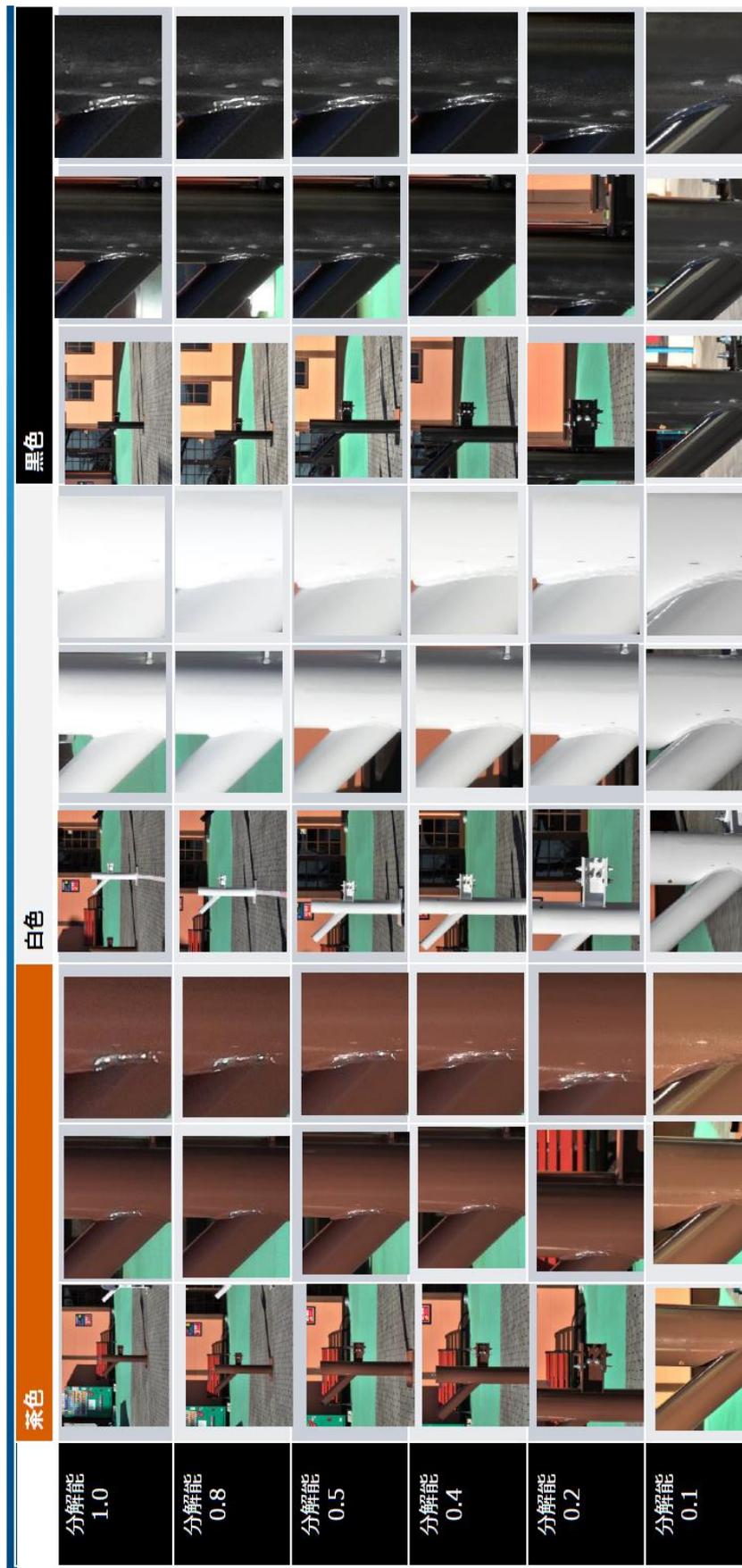


図 24 Mavic3 日中 き裂

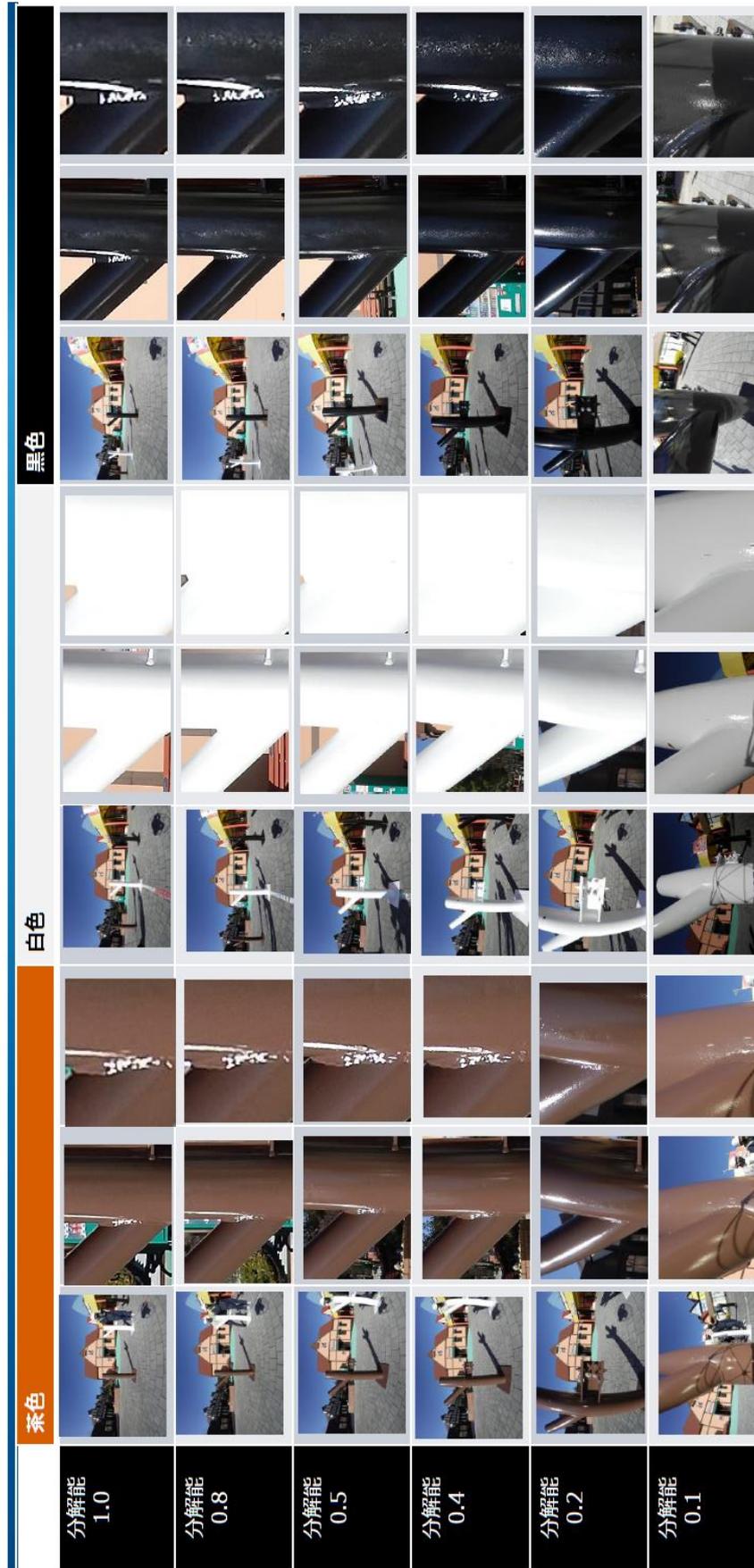


図 25 Elios3 日中 き裂

・ELIOS3 夜間 合いマーク

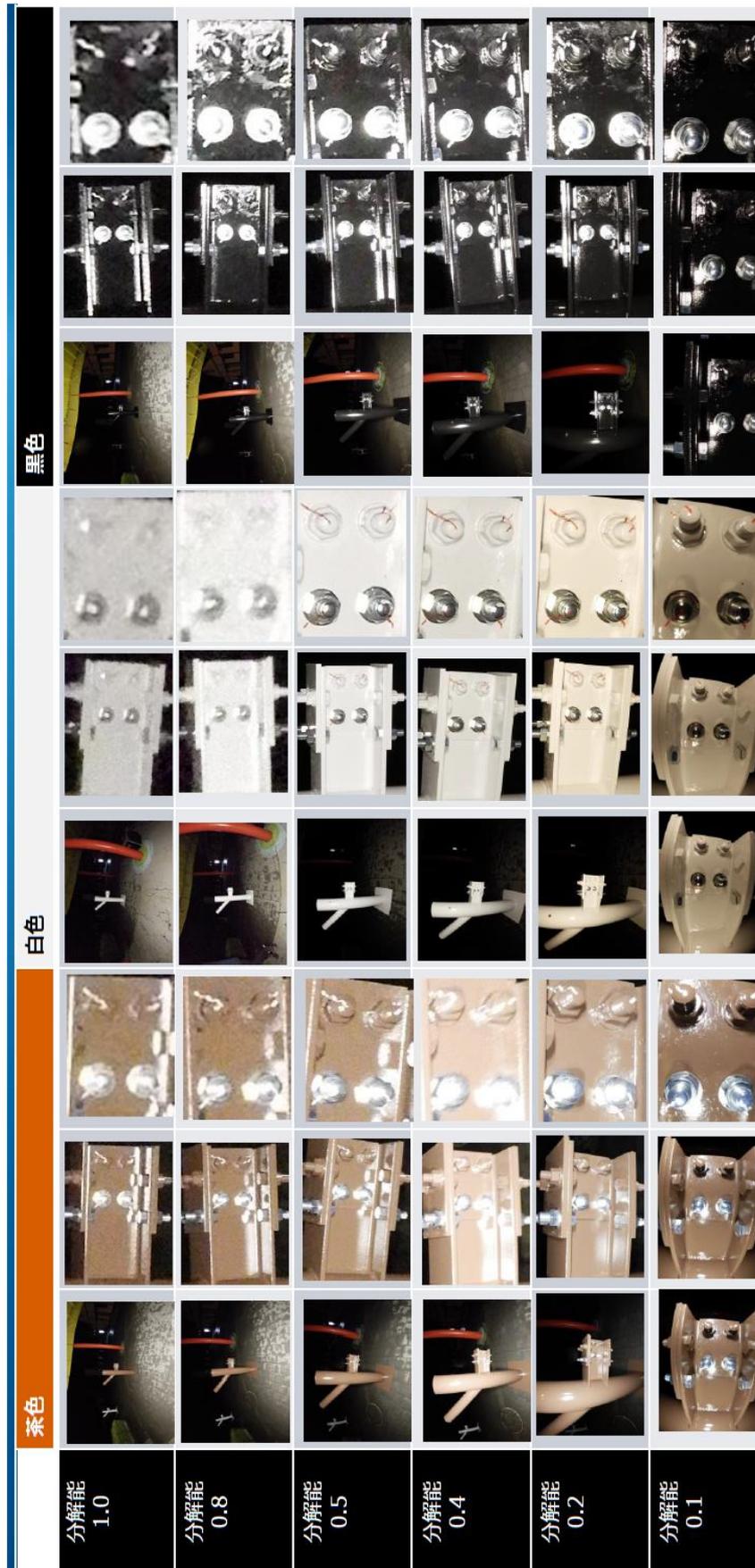


図 26 Elios3 夜間 合いマーク

•ELIOS3 夜間 鏽

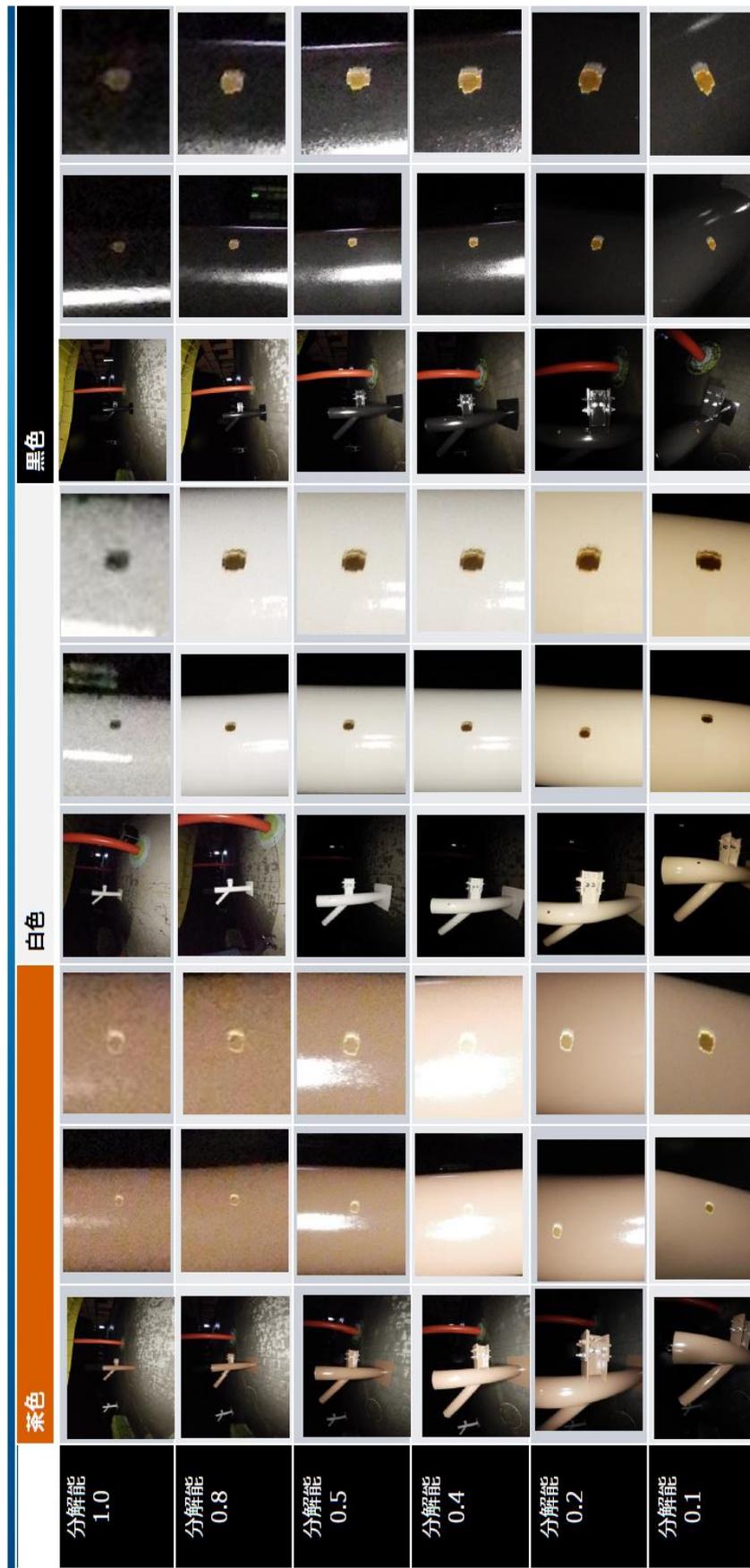


图 27 Elios3 夜間 鏽

・ELIOS3 夜間 き裂

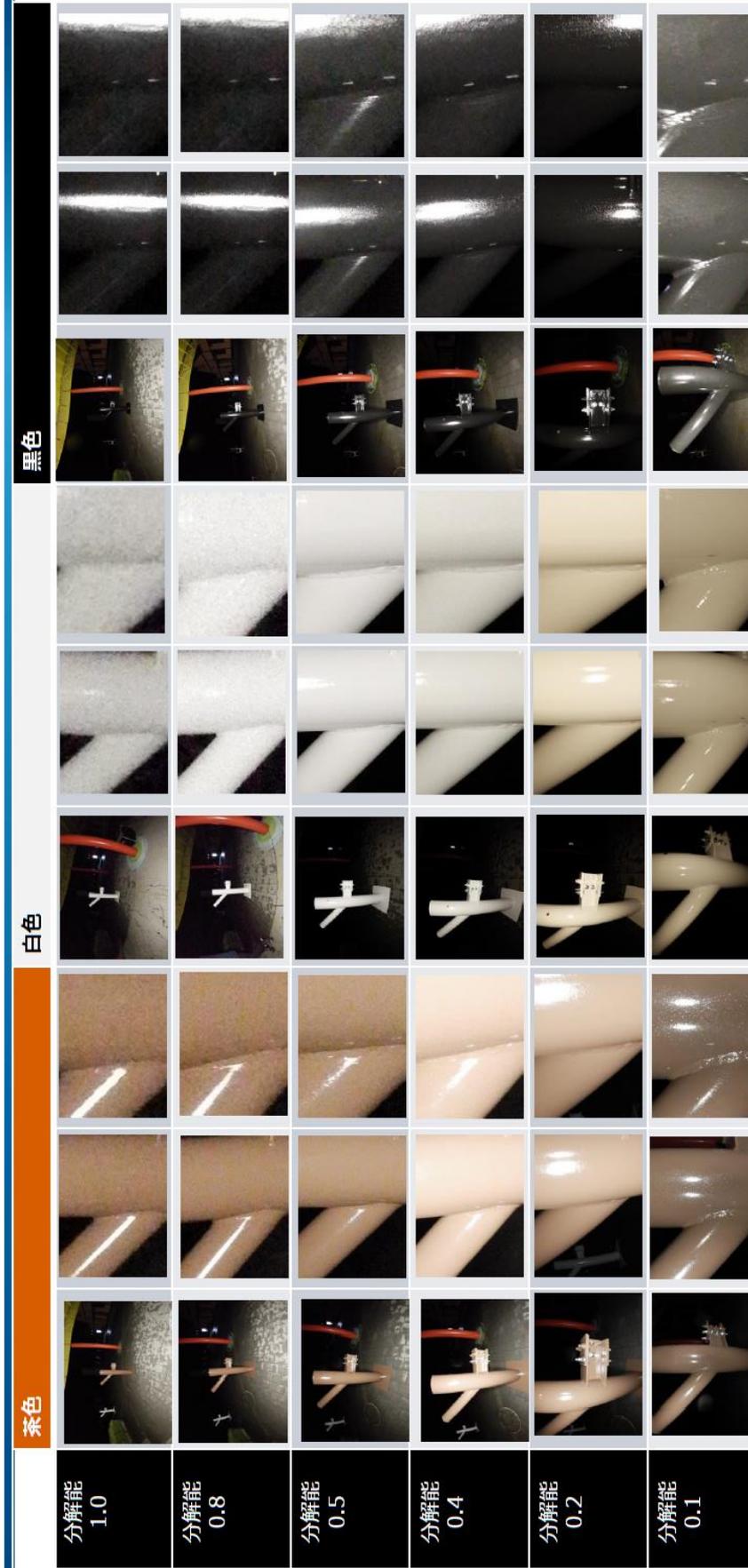


図 28 Elios3 夜間 き裂

表 5 模擬劣化サンプルのドローン撮像写真に対する検査員の視認性

カメラ：Matrice300RTK 搭載機

分解能	ボルト合いマーク						錆						き裂					
	日中			夜間			日中			夜間			日中			夜間		
	茶	白	黒	茶	白	黒	茶	白	黒	茶	白	黒	茶	白	黒	茶	白	黒
1.0	×	○	×	-	-	-	○	○	△	-	-	-	×	△	△	-	-	-
0.8	△	○	△	-	-	-	○	○	△	-	-	-	△	△	△	-	-	-
0.5	○	○	○	-	-	-	○	○	○	-	-	-	○	△	△	-	-	-
0.4	○	○	○	-	-	-	○	○	○	-	-	-	○	△	○	-	-	-
0.2	○	○	○	-	-	-	○	○	○	-	-	-	○	○	○	-	-	-
0.1	○	○	○	-	-	-	○	○	○	-	-	-	○	○	○	-	-	-

○：視認可，△：視認難，×：視認不可，-：実証省略

カメラ：Mavic3 搭載機

分解能	ボルト合いマーク						錆						き裂					
	日中			夜間			日中			夜間			日中			夜間		
	茶	白	黒	茶	白	黒	茶	白	黒	茶	白	黒	茶	白	黒	茶	白	黒
1.0	×	×	×	-	-	-	○	○	△	-	-	-	×	×	△	-	-	-
0.8	×	×	△	-	-	-	○	○	△	-	-	-	×	×	△	-	-	-
0.5	×	○	○	-	-	-	○	○	△	-	-	-	○	△	△	-	-	-
0.4	○	○	○	-	-	-	○	○	△	-	-	-	○	○	○	-	-	-
0.2	○	○	○	-	-	-	○	○	△	-	-	-	○	○	○	-	-	-
0.1	○	○	○	-	-	-	○	○	○	-	-	-	○	○	○	-	-	-

○：視認可，△：視認難，×：視認不可，-：実証省略

カメラ：Elios3 搭載機

分解能	ボルト合いマーク						錆						き裂					
	日中			夜間			日中			夜間			日中			夜間		
	茶	白	黒	茶	白	黒	茶	白	黒	茶	白	黒	茶	白	黒	茶	白	黒
1.0	×	×	×	×	×	×	○	○	△	○	○	○	×	×	△	×	×	×
0.8	×	×	×	×	×	×	○	○	△	○	○	○	×	×	△	×	×	△
0.5	△	○	△	×	○	△	○	○	△	○	○	○	×	×	△	△	×	○
0.4	○	○	○	×	○	○	○	○	×	△	○	○	×	×	△	○	×	○
0.2	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	×	×	×	×	×	×
0.1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○

○：視認可，△：視認難，×：視認不可，-：実証省略

(b) 視野角の実証結果

模擬劣化サンプル品の構造部材（梁を模した部分）下面のボルトを撮像する際、Mavic3 は望遠と広角の2つのカメラを標準搭載しているが、望遠カメラ（FOV：15°）では撮像できず、広角カメラ（FOV：84°）に切り替える必要があった。

一方、ELIOS3 は標準搭載された1つのカメラ（FOV：149°）で十分に撮像可能であり、カメラがボルトに正対する（真正面に向き合う）ことができた。



模擬劣化サンプル品 構造部材下面 (Mavic3)  
望遠カメラでは構造部材下面は撮像できなかったため、  
広角カメラに切り替えた。



模擬劣化サンプル品 構造部材下面 (ELIOS3)  
標準搭載のカメラで十分に撮像可能であった。

図 29 ドローンに搭載した広角カメラによる撮影の様子

### ③ 汎用デジタルカメラによる実証結果

比較的低い部分の検査箇所などは、ドローンを使用せずにデジタルカメラで撮影した画像で判断する場合も想定されることから、参考として、模擬劣化サンプル品を用いて、汎用デジタルカメラにおける視認性の実証も行うこととした。

- ・デジタルカメラは RICOH G900 を使用した。  
撮像素子：1/2.3 型 CMOS、焦点距離 28～140 mm（35 mm判換算値）
- ・有効画素数については、国土交通省が定める『デジタル写真管理情報基準』で指標とされている 1200×900 程度～2000×1500 程度の下限である 1280×960 を設定値とした。
- ・検査対象物からの距離は、60 cm（近接目視）、1m、2m の 3 箇所行った。
- ・光学ズームは 1 倍、2 倍、3 倍、5 倍も行った。  
※視認性の高い近距離では高倍率を省略した。
- ・上記設定から、分解能が 0.1、0.17、0.35 mm/pixel の条件において確認した。



[距離 60 cm]



[距離 1m]



[距離 2m]

図 30 汎用デジタルカメラによる模擬劣化サンプル品の撮像の様子

分解能別撮像結果			G900			日中			ボルト合いマーク			
分解能 0.35	茶色			白色			黒色					
分解能 0.17	茶色			白色			黒色					
分解能 0.1	茶色			白色			黒色					

図 31 汎用デジタルカメラによる模擬劣化サンプル品の撮像写真（日中/ボルト）

分解能別撮像結果		G900			日中			錆		
		白色			黒色			茶色		
分解能 0.35										
分解能 0.17										
分解能 0.1										

図 32 汎用デジタルカメラによる模擬劣化サンプル品の撮像写真（日中/錆）

分解能別撮像結果			G900			日中			き裂		
分解能 0.35	茶色	白色	黒色			白色			黒色		
			白色			白色			白色		
			茶色			茶色			茶色		
分解能 0.17											
分解能 0.1											

図 33 汎用デジタルカメラによる模擬劣化サンプル品の撮像写真（日中/き裂）

分解能別撮像結果			G900			夜間			ボルト合いマーク		
分解能 0.35	茶色	白色									
			黒色								
分解能 0.17	茶色	白色									
分解能 0.1											

図 34 汎用デジタルカメラによる模擬劣化サンプル品の撮像写真（夜間/ボルト）

分解能別撮像結果			G900	夜間	錆
分解能 0.35	茶色	白色			
		黒色			
		錆			
分解能 0.17	茶色	白色			
		黒色			
		錆			
分解能 0.1	茶色	白色			
		黒色			
		錆			

図 35 汎用デジタルカメラによる模擬劣化サンプル品の撮像写真（夜間/錆）

分解能別撮像結果			G900	夜間	き裂
分解能 0.35	茶色				
	白色				
	黒色				
分解能 0.17	茶色				
	白色				
	黒色				
分解能 0.1	茶色				
	白色				
	黒色				

図 36 汎用デジタルカメラによる模擬劣化サンプル品の撮像写真（夜間/き裂）

表 6 模擬劣化サンプルの汎用デジタルカメラ撮像写真に対する検査員の視認性

カメラ：RICOH G900

分解能	ボルト合いマーク						錆						き裂					
	日中			夜間			日中			夜間			日中			夜間		
	茶	白	黒	茶	白	黒	茶	白	黒	茶	白	黒	茶	白	黒	茶	白	黒
0.35	×	×	×	△	×	×	○	○	○	○	○	○	×	×	×	△	×	△
0.17	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○
0.1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○

○：視認可, △：視認難, ×：視認不可, -：実証省略

汎用デジタルカメラにおいても、ドローンでの撮影結果と同様の傾向が見られた。対象となる欠陥種により視認できる分解能が異なった。錆であれば、0.35 mm/pixel で確認することができ、ボルトの合いマークやき裂に関しては、0.1 から 0.17 mm/pixel で確認することができた。以上のことから当機材においては、合いマークのズレ、き裂、錆の全てを画像にて確認するためには 0.1 から 0.17 mm/pixel の分解能が推奨される。

(イ) コースターにおける定期検査の実証結果

以下に①検査員による定期検査（人的検査）の方法、②ドローンによる検査実証結果を示す。

① 検査員による定期検査（人的検査）の方法

(a) 取付け（緩み確認マーク（合いマーク）のズレ）の状況の検査方法

【検査方法】

【構造部分（構造物）】

[平成 20 年国土交通省告示第 284 号別表：一（五）]

・構造部材及び補助部材の取り付けの状況

【軌道部分（軌条、軌道、水路及び滑走路）】

[平成 20 年国土交通省告示第 284 号別表：二（一）]

・軌条、軌道及び水路の接合部の緩み及びき裂の状況

【電気設備（避雷設備）】

[平成 20 年国土交通省告示第 284 号別表：九（四）]

・突針、支持金物、引下げ導線等の取り付けの状況

この検査項目の取付けの状況については、「取り付けているボルトの緩みをテストハンマーによる打検又は、目視による緩み確認マークの位置の確認その他ナットの緩みを確認できる方法により確認する。」といった内容である。

【検査員による検査方法等の実証結果】

検査員が構造部分や軌条部分、電気設備の取り付けの状況を検査するには、高所作業車や点検足場等からのアプローチにより、60 cm程度の近接目視で以下の状況を確認していることが分かった。

- ・取付けの状況をボルト合いマークのズレ・塗膜の割れの有無から、堅固であることを確認。  
⇒指摘なし（遊戯施設定期検査告示別表に基づく判定基準により、検査員が判定

- した結果、検査箇所には指摘がないことを確認した。)
- ・溶接部のき裂の状況をその疑いとなる塗膜の割れの有無から、き裂が無いことを確認。  
⇒指摘なし（遊戯施設定期検査告示別表に基づく判定基準により、検査員が判定した結果、検査箇所には指摘がないことを確認した。)
  - ・電気設備（避雷設備（突針））の取付けが堅固であることを確認。  
⇒指摘なし（遊戯施設定期検査告示別表に基づく判定基準により、検査員が判定した結果、検査箇所には指摘がないことを確認した。)



図 37 検査員が接合部分を目視確認する様子(コースター)



図 38 検査員が構造部材・補助部材・軌条を目視確認する様子（コースター）

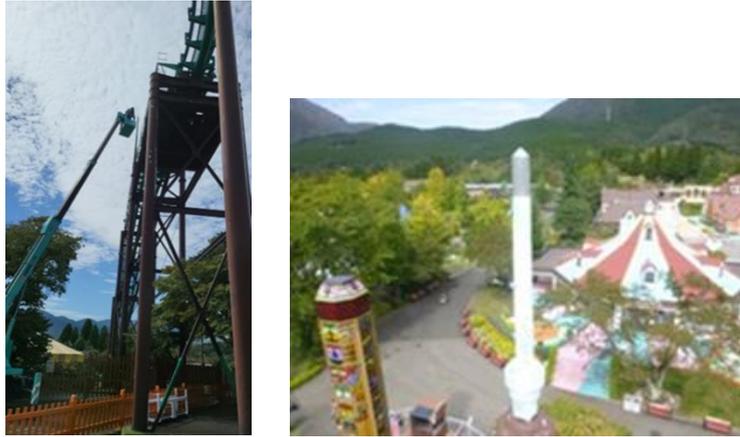


図 39 検査員が避雷設備を目視確認する様子（コースター）

(b) 錆・腐食の状況の検査方法

【検査方法】

【構造部分（構造物）】

[平成 20 年国土交通省告示第 284 号別表：一（五）]

- ・構造部材の腐食の状況
- ・補助部材の腐食の状況
- ・構造部材の変形、偏位、き裂及び破損の状況

【軌道部分（軌条、軌道、水路及び滑走路）】

[平成 20 年国土交通省告示第 284 号別表：二（一）]

- ・軌条、軌道及び水路の接合部の緩み及びき裂の状況

この検査項目の錆・腐食の状況については、「目視により確認し、著しい錆・腐食が認められた場合にあっては、著しい錆・腐食を除去して部材厚さが最も薄い箇所を測定、測定した結果、当初厚みの 90%未満の場合は「要是正」とし、当初厚みの 90%以上ある場合は、「要重点点検」の判定結果となる。」という検査項目である。

【検査員による検査方法等の実証結果】

- ・高所作業車や点検足場等からのアプローチにより、錆、腐食の状況を塗膜の割れ、剥がれがあることを目視で確認した。

⇒本実証の対象外である板厚計測を要する。

- ・高所作業車や点検足場等からのアプローチにより、偏位、き裂及び破損がないことを確認した。

⇒指摘なし（遊戯施設定期検査告示別表に基づく判定基準により、検査員が判定した結果、検査箇所に指摘がないことを確認した。）。

実際の人的検査では、(a)の取付けの状況と(b)の錆腐食の状況を同時に確認するので、実証結果としては、(a)の実証結果と同様である。

## ② ドローンによる検査実証結果

### (a) 取付け（緩み確認マーク（合いマーク）のズレ）の状況の検査方法

#### 【検査方法】

ドローンを用いた取付け状況の検査方法としては、あらかじめ取付けボルトに緩み確認用の合いマークが施されている取り付け部分を、ドローンを用いて撮影し、検査員がその画像を確認して、合いマークがずれているか、いないかを判断し、ずれていない場合は、取付けが堅固であると判断し、「指摘なし」とすることになる。また、ずれている場合は、取付けが堅固でないと判断し、「要是正」とすることになる。

#### 【ドローンによる実証結果】

以下の実証結果により、取付け（緩み確認マーク（合いマーク）のズレ）の状況は手動検査であっても自動検査であっても必要分解能を満たして撮像されていれば判断は十分にできると考えられる。

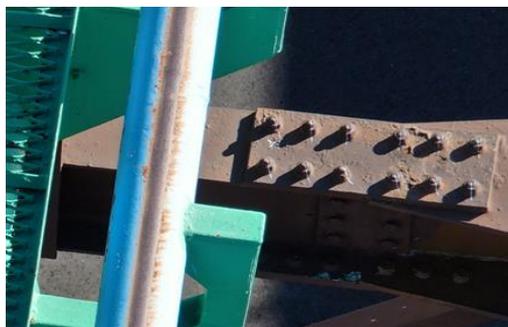
- 手動検査にて A1 部 15 番柱・梁の構造部材や補助部材の取り付け部分を撮像し、取り付けボルトの合いマークにズレがないことを画像から確認した。
- 手動検査にて A1 部および A2 部の桁同士の取り付け部分を撮像し、取り付けボルトの合いマークにズレがないこと画像から確認した。
- 自動検査にて A1 部 12 番柱・梁から 15 番柱・梁の構造部材や補助部材の取り付け部分を撮像し、取り付けボルトの合いマークにズレがないことを画像から確認した。
- 自動検査にて A1 部および A2 部の桁同士の取り付け部分を撮像し、取り付けボルトの合いマークにズレがないこと画像から確認した。



A1 部 15 番梁・梁取付け部分（手動検査）  
ボルトと合いマーク



A2 部スパイラル上部桁取付け部分（手動検査）  
ボルトと合いマーク



A1 部 13 番柱・梁取付け部分（自動検査）  
ボルトと合いマーク



A2 部スパイラル上部桁取付け部分（自動検査）  
ボルトと合いマーク

図 40 ドローンにより撮影した取付けの状況（コースター）

しかし、以下の3つの課題が考えられる。

・機体の向き、カメラのアングル

機体の向きやジンバルの可動範囲の限界によってカメラがボルトに正対できない場合、ボルトに付されたラインがボルト背後に隠れてしまうなどして緩みが確認できない可能性がある。

改善の方策として、このような死角が生じないように配慮された飛行ルートと撮影ポイントでのカメラアングルを有する飛行計画を立てるといった方法が考えられる。特に狭小部分でカメラが正対しにくい場合には、合いマークのラインの位置を見直すといった対応も有効と考える。



A1部 15番梁（自動検査）  
白いラインの一部がボルトの背後に  
隠れてしまっている

図 41 ドローンにより撮影したボルト

・カメラの視野角（FOV）

構造物下面のボルトに対してはカメラの視野角（FOV）が関与する。この場合、構造物の下に入り込み、見上げるような状態から撮像しなければならないが、仰角が小さいカメラではボルトが視界に入らない可能性がある。

改善の方策としては、構造物の下に入り込める大きさの機体を用意することや下から見上げる状態で撮像可能な広角カメラとジンバル可動範囲を有するドローンを選択することが考えられる。



A1部 13番柱・梁（手動検査）  
構造物下面（裏面）の撮像には視野角  
（特に仰角）が大きく関与する

図 42 下方から見上げて撮影したボルト

## ・逆光、日当たり

ボルトのある部位が日陰になっているなどで明るさが十分でないとき、露出補正しなければ確認できない可能性がある。実際、コースターでの手動検査の際にこの状態は発生し、操縦士がコントローラーから露出補正を行って合いマークを確認している。

特に自動検査の場合は露出補正のタイミングを逸する可能性が高く、また仮に自動露出補正機能を有していたとしても、必ずしも検査にとって適切な露出補正になるとは限らない。

改善の方策として、自動検査においては各撮影ポイントが日陰となる時間帯をあらかじめ把握しておき、適切な時間設定がなされた飛行計画をたてる必要がある。特に常時暗く、十分な明るさが終日確保できないといった場合には、その撮影ポイントのみ手動検査で露出補正を行いながら撮像するといった対応も有効と考える。



A1 部 14 番柱（手動検査）  
露出補正によって合いマークを  
確認することができた

図 43 露出補正して撮影したボルト

### 【検査員によるドローン実証結果の評価】

ドローンで撮影された画像で施設の以下の状況を目視同等に視認し、検査及び判定することができる。

- ・取付けの状況をボルト合いマークのズレ・塗膜の割れの有無から、堅固であることを確認。  
⇒指摘なし（遊戯施設定期検査告示 別表に基づく判定基準により、検査員が判定した結果、検査箇所に指摘がないことを確認した。）。
- ・溶接部のき裂の状況をその疑いとなる塗膜の割れの有無から、き裂が無いことを確認。  
⇒指摘なし（遊戯施設定期検査告示 別表に基づく判定基準により、検査員が判定した結果、検査箇所に指摘がないことを確認した。）。
- ・電気設備（避雷設備（突針））の取付けが堅固であることを確認。  
⇒指摘なし（遊戯施設定期検査告示 別表に基づく判定基準により、検査員が判定した結果、検査箇所に指摘がないことを確認した。）。

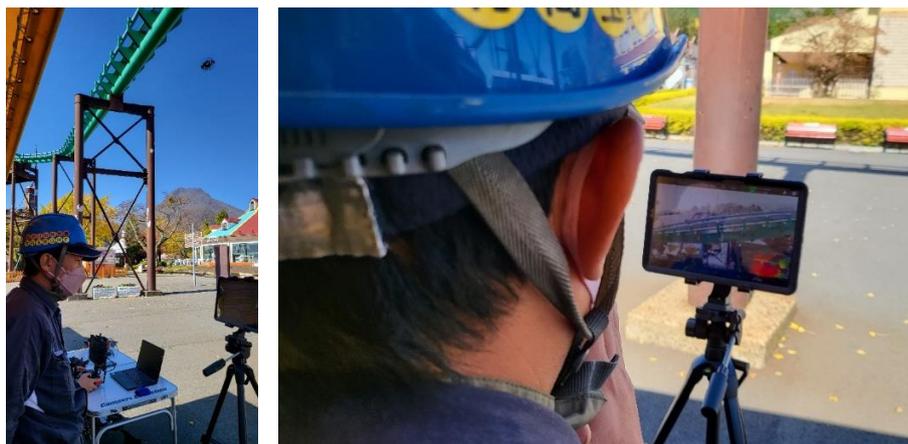


図 44 検査員が検査対象部位のドローン撮像画像を確認する様子（コースター）

#### (b) 錆・腐食の状況の検査方法

##### 【検査方法】

この項目でドローンを用いて検査できる方法としては、構造部材全般を、ドローンを用いて撮影し、検査員がその画像を確認して、錆、腐食があるか、ないかを判断し、著しい錆、腐食が確認されなかった場合は、「指摘なし」とすることになる。また、著しい錆、腐食が確認された場合は、検査員が直接その部分に行き、錆の部分を除去して、部材の厚みを測定する。測定した結果、当初厚みの 90%未満の場合は「要是正」とし、当初厚みの 90%以上ある場合は、「要重点点検」の判定結果となる。

##### 【ドローンによる実証結果】

以下の実証結果により、錆・腐食の状況は手動検査であっても自動検査であっても必要分解能を満たして撮像されていれば判断は十分にできると考えられる。

- ・手動検査にて A1 部の軌条、枕木、桁、14 番および 15 番柱・梁における母材や補助部材全般を撮像し、画像からの錆・腐食の状況を確認した。結果、枕木、および 14 番と 15 番柱・梁に著しい腐食を発見した。
- ・手動検査にて A2 部のアーチ構造、軌条、枕木、桁の母材や補助部材全般を撮像し、画像からの錆・腐食の状況を確認した。結果、スパイラル上部の桁に大きな錆、および軌条と枕木にそれぞれ著しい腐食を発見した。
- ・自動検査にて A1 部の軌条、枕木、桁、12 番から 15 番までの柱・梁における母材や補助部材全般を撮像し、画像からの錆・腐食の状況を確認した。結果、12 番、14 番および 15 番柱・梁（手動検査時と同一箇所）に著しい腐食を発見した。
- ・自動検査にて A2 部のアーチ構造、軌条、枕木、桁の母材や補助部材全般を撮像し、画像からの錆・腐食の状況を確認した。結果、スパイラル導入部の軌条と枕木の接合部に著しい腐食を発見した。



A1 部枕木の腐食  
(手動検査)



A2 部スパイラル上部の錆  
(手動検査)



A1 部 12 番梁の腐食  
(自動検査)



A1 部 13 番梁の腐食  
(自動検査)



A1 部 14 番柱の腐食  
(手動検査 / 自動検査)



A1 部 15 番梁の腐食  
(手動検査 / 自動検査)



図 45 手動検査、自動検査別のドローン撮像画像 (コースター)

自動検査（Matrice300RTK）では衝突や磁界の影響を考え、手動検査の時よりも離隔（撮影）距離を大きくとっていたが、カメラ（ZenmuseH20T）の性能によって補完されており、手動検査のときと比較しても視認性の低下は感じられなかった。

ただし、機体がどのような使用環境を想定して設計されているか、すなわち機体の想定使用環境の違いによって劣化部位の捕捉性に差異が生じうることに留意すべきである。

手動検査時に用いた機体（ELIOS3）は、トンネル内のような狭小空間における至近距離での撮像を想定しており、「寄り」の撮影に向いている。狭小空間では「引き」で撮ることができないため、装備されるカメラの視野角（FOV）を大きくすることで捕捉できる情報の網羅性を高めている。一方、自動検査時に用いた機体（Matrice300RTK）とカメラ（ZenmuseH20T）は、「引き」で高画質の画像が撮れるため、視野角（FOV）を大きくとらずとも一度に視界に入る情報量が多く、広範な劣化部位の探索に向いていると言える。実際、今般の実証においても機体（とカメラ）の想定使用環境の違いによって劣化部位の捕捉性に差異が生じている。A2 部スパイラル上部（軌条の天地逆転部分）の軌条と枕木にあった 2 つの顕著な腐食は、手動検査時には近接撮影かつ大きな仰角によって発見できたが、自動検査時には発見できなかった。（図左）

一方、A2 部スパイラル導入部における軌条と枕木の接合部分の腐食は、手動検査時には発見できなかったが、自動検査時には発見できた（図右）。これは、後者の機体（カメラ）が「引き」で高画質の画像が撮れるため、一度に視界に入る情報量が多く、スパイラルの導入部に至るまで網羅できたためと考えられる。



A2 部スパイラル上部  
自動検査時には発見できなかった  
スパイラル上部の 2 つの顕著な腐食



A2 部スパイラル導入部  
手動検査時には発見できなかった  
軌条・枕木接合部の腐食

図 46 劣化部位の捕捉性差異

#### 【課題】

- ・ドローン機種により耐風性能、耐候性能は異なるが、強風、雨などの気象環境によりドローンの飛行ができない場合がある。

改善の方策としては、上記のような気象の悪条件の際は、無理に検査を行わず、日を改めるなど、検査日を設定する際は天候も考慮し、余裕をもった検査日程とすることが必要と考える。

- ・ドローン機種によりカメラ向き変更の可不可や動く範囲が異なる（固定、上下のみ、上下左右、各稼動範囲）。

改善の方策としては、カメラアングル可動域の制約等からドローンを使い分けや広角カメ

ラを使用することが考えられる。

- ・日射しの状況により露出を調整しながら撮像する必要がある。特に自動検査の場合は露出補正のタイミングを逸する可能性が高く、また仮に自動露出補正機能を有していたとしても、必ずしも検査にとって適切な補正になるとは限らない。

この改善の方策として、自動検査においては各撮影ポイントが日陰となる時間帯をあらかじめ把握しておき、適切な時間設定がなされた飛行計画をたてる必要がある。特に常時暗く、十分な明るさが終日確保できないといった場合には、その撮影ポイントのみ手動検査で露出補正を行いながら撮像するといった対応も有効と考える。

#### (ウ) 観覧車における定期検査の実証結果

以下に①検査員による定期検査（人的検査）の方法、②ドローン検査による実証結果を示す。

##### ① 検査員による定期検査（人的検査）の方法

(a) 取付け（緩み確認マーク（合いマーク）のズレ）の状況の検査方法

【検査方法】

【構造部分（構造物）】

[平成 20 年国土交通省告示第 284 号別表：一（五）]

- ・構造部材及び補助部材の取り付けの状況

この検査項目の取付けの状況については、「取り付けているボルトの緩みをテストハンマーによる打検又は、目視による緩み確認マークの位置の確認その他ナットの緩みを確認できる方法により確認する。」といった内容である。

##### 【検査員による検査方法等の実証結果】

高所作業車/点検足場等からのアプローチにより、施設の以下の状況を目視確認した。

- ・取付けの状況をボルト合いマークのズレ・塗膜の割れの有無から、堅固であることを確認。  
⇒指摘なし（遊戯施設定期検査告示 別表に基づく判定基準により、検査員が判定した結果、検査箇所には指摘がないことを確認した。）。
- ・溶接部のき裂の状況をその疑いとなる塗膜の割れの有無から、き裂が無いことを確認。  
⇒指摘なし（遊戯施設定期検査告示 別表に基づく判定基準により、検査員が判定した結果、検査箇所には指摘がないことを確認した。）。



図 47 検査員が構造部材・補助部材を目視確認する様子（観覧車）



図 48 検査員が接合部分を目視確認する様子（観覧車）

(b) 錆・腐食の状況の検査方法

【検査方法】

【構造部分（構造物）】

[平成 20 年国土交通省告示第 284 号別表：一（五）]

- ・構造部材の腐食の状況
- ・補助部材の腐食の状況
- ・構造部材の変形、偏位、き裂及び破損の状況

この検査項目の錆・腐食の状況については、「目視により確認し、著しい錆・腐食が認められた場合にあつては、著しい錆・腐食を除去して部材厚さが最も薄い箇所を測定、測定した結果、当初厚みの 90%未満の場合は「要是正」とし、当初厚みの 90%以上ある場合は、「要重点点検」の判定結果となる。」という検査項目である。

【検査員による検査方法等の実証結果】

- ・高所作業車や点検足場等からのアプローチにより、錆、腐食の状況を塗膜の割れ、剥がれがあることを目視で確認した。

⇒本実証の対象外である板厚計測を要する。

- ・高所作業車や点検足場等からのアプローチにより、偏位、き裂及び破損がないことを確認した。

⇒指摘なし（遊戯施設定期検査告示 別表に基づく判定基準により、検査員が判定した結果、検査箇所に指摘がないことを確認した。）。

実際の人的検査では、(a)の取付けの状況と(b)の錆腐食の状況を共に確認するので、実証結果としては、(a)の実証結果と同様である。

② ドローン検査による実証結果

(a) 取付け（緩み確認マーク（合いマーク）のズレ）の状況の検査方法

【検査方法】

ドローンを用いて検査できる方法としては、あらかじめ取付けボルトに緩み確認用の合いマークが施されている取り付け部分を、ドローンを用いて撮影し、検査員がその画像を確認して、合いマークがずれているか、いないかを判断し、ずれていない場合は、取付けが堅固であると判

断し、「指摘なし」とすることになる。また、ずれている場合は、取付けが堅固でないと判断し、「要是正」とすることになる。

#### 【ドローン検査による実証結果】

観覧車における取付け（緩み確認マーク（合いマーク）のズレ）の状況は、必要分解能を満たして撮像されていれば判断は十分にできると考えられる。

当日の撮影は、ドローンの手動検査にて、カメラ設定も現場調整により行った。観覧車から約 20m 距離をとり、ドローンに搭載したズームカメラの最大倍率（光学 20 倍）で撮影を行った。

当日は晴天・無風の条件下であったため、影になる部分でも光量があり明るく、またズームカメラの最大倍率での撮影でも画像がブレることなく撮影できている。



図 49 ドローンによる取付け部撮影結果（観覧車）

しかし、コースターにおける実証結果と同様に、3つの要因（機体の向き・カメラの角度、カメラの視野角、逆光・日当たり）により判断できない可能性がある。これは、屋外での施設検査を画像撮影により行う場合に、共通と考える。

#### 【検査員によるドローン実証結果の評価】

ドローンで撮影された画像で施設の以下の状況を目視同等に視認し、検査及び判定することができる。

- ・取付けの状況をボルト合いマークのズレ・塗膜の割れの有無から、堅固であることを確認。  
⇒指摘なし（遊戯施設定期検査告示 別表に基づく判定基準により、検査員が判定した結果、検査箇所指摘がないことを確認した。）。
- ・溶接部のき裂の状況をその疑いとなる塗膜の割れの有無から、き裂が無いことを確認。  
⇒指摘なし（遊戯施設定期検査告示 別表に基づく判定基準により、検査員が判定した結果、検査箇所指摘がないことを確認した。）。

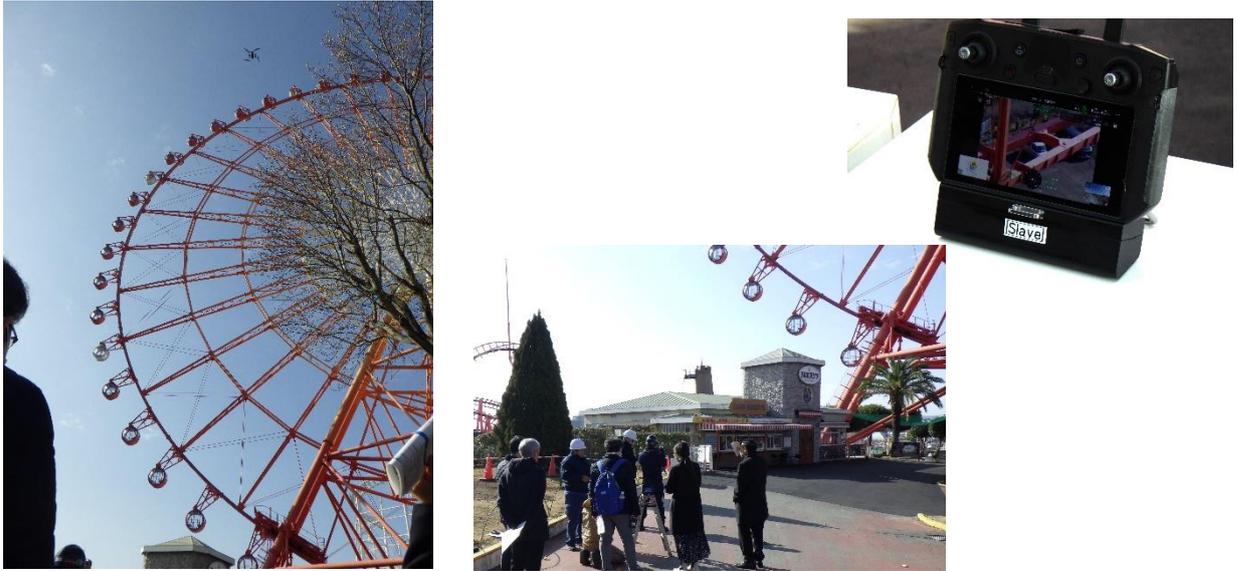


図 50 検査員が検査対象部位のドローン撮像画像を確認する様子（観覧車）

#### (b) 錆・腐食の状況の検査方法

##### 【検査方法】

この項目でドローンを用いて検査できる方法としては、構造部材全般を、ドローンを用いて撮影し、検査員がその画像を確認して、錆、腐食があるか、ないかを判断し、著しい錆、腐食が確認されなかった場合は、「指摘なし」とすることになる。また、著しい錆、腐食が確認された場合は、検査員が直接その部分に行き、錆の部分を除去して、部材の厚みを測定する。測定した結果、当初厚みの 90% 未満の場合は「要是正」とし、当初厚みの 90% 以上ある場合は、「要重点点検」の判定結果となる。

##### 【ドローン検査による実証結果】

観覧車における錆や腐食の確認、必要分解能を満たして撮像されていれば判断は十分にできると考えられる。

観覧車における確認点として、下図のような鉄骨の接合部の中をくまなく確認を行う。接近して撮影可能なドローンであれば、一箇所の撮影を一度の撮影で確認可能であるが、遠隔からズーム撮影により行う撮影方法では、部材の影になる場所が発生する。このため、1 箇所の接合部で上下 2 方向、接合部の反対側箇所も含めて計 4 方向からの撮影が必要となる。ドローンの検査効率を考慮すると、手動検査での撮影においては、都度撮影方向を変更するのではなく撮影方向を固定して全箇所撮影した後に、撮影方向を変えて変更するように実施した。

また、撮影はカメラ下向きのみではなく上向きへの設定も必要なため、今回のズームカメラによる撮影方法では、実施可能なカメラ・ドローンの種類が限られる。



図 51 接合部における錆などの発生状況（観覧車）



図 52 接合部における上下左右の方向からの撮影結果（観覧車）

【検査員によるドローン実証結果の評価】

ドローンで撮影された画像で施設の以下の状況を目視同等に視認し、検査及び判定することができる。

- ・錆、腐食の状況を塗膜の割れ、剥がれがあることを目視で確認した。  
⇒本実証の対象外である板厚計測を要する。

【課題】

- ・ドローンでの確認でも、腐食が認められた場合にあっては、直接検査員がその部分に行き、錆、腐食を除去して部材の厚さを測定する必要がある。
- ・撮影画像からの判断となるため、あらかじめ合いマークを施す必要がある。
- ・ドローン機種により耐風性能、耐候性能は異なるが、強風、雨などの気象環境によりドロ

ーンの飛行ができない場合がある。

- ・ドローン機種によりカメラ向き変更の可不可や動く範囲が異なる（固定、上下のみ、上下左右、各稼動範囲）。カメラアングル可動域の制約等からドローンを使い分ける必要がある。特に観覧車においては、接合部は部材の影になる場合があり、撮影角度によって上下や高倍率のズームができるカメラ性能が要求される場合がある。
- ・手動検査による撮影では、方向やズームの設定を都度調整で行う場合がある。現場での都度調整には操縦者の技量が必要且つ飛行時間が長くなる。コースターで実施したような撮影方向やズームを事前に設定可能なアプリケーションを使用することで、操縦者の負担軽減と現場時間の短縮を見込める。
- ・日射しの状況により露出を調整しながら撮像する必要がある。特に自動検査の場合は露出補正のタイミングを逸する可能性が高く、また仮に自動露出補正機能を有していたとしても、必ずしも検査にとって適切な補正になるとは限らない。
- ・逆光等を避けて撮影する必要がある。

## (2) 安全性の評価・分析

1.3 で示した検査項目に関して、現在の検査員による人的検査では以下のような危険性等があることが分かった。

- ・高所へのアクセスに際し、足を踏み外す懸念。
- ・昇降における身体への負担が大きく、近年の検査員高齢化傾向においてはその負担はより大きい。
- ・高所において鳥虫による攻撃を受けることもある。

これらの危険性に関して、検査をドローンに置き換えた場合、検査員や補助作業員に対して、転落や挟まれに関するリスクが大幅に軽減されることが考えられる。

一方でドローンを使用した場合には検査員による検査とは別のリスク対策が必要となるため、以下を考慮し、安全性を確保した上で検査を行う必要がある。

### (a) 屋外でのドローン飛行において通常考慮する点

- ・場所の確保・周辺状況を十分に確認し、第三者の上空では飛行させない。
- ・飛行場所に第三者の立ち入り等が生じた場合には速やかに飛行を中止する。  
⇒ 検査を休園日に実施するなどして第三者との接触を極力なくす必要がある。
- ・10 間の平均風速 5m/s 以上の状態では飛行させない。
- ・雨の場合や雨になりそうな場合は飛行させない。
- ・十分な視程が確保できない雲や霧の中では飛行させない。  
⇒ 離陸前、飛行中、離陸後と風速計で計測し、天候は予報などに依らず、目視で確認する必要がある。実際、城島高原では予報とは大きく異なる天候に見舞われた。
- ・飛行させる際には、安全を確保するために必要な人数の補助者を配置し、相互に安全確認を行う体制をとる。
- ・補助者は、飛行範囲に第三者が立ち入らないよう注意喚起を行う。
- ・補助者は、飛行経路全体を見渡せる位置において、無人航空機の飛行状況及び周囲の気象状況の変化等を常に監視し、操縦者が安全に飛行させることができるよう必

要な助言を行う。

⇒ ドローン検査の場合は、パイロットと補助者のほか、モニターから劣化部位を確認する者（検査員）が必要になる。補助者は周囲状況の監視とパイロットの補助に徹するようにし、他の役割を兼務させないようにする必要がある。

• 夜間の目視外飛行は行わない。

⇒ 夜間は照明機構を有する機体において、その照明範囲内での目視飛行のみを行う。本実証でも模擬劣化サンプル品実証において同機構を有する機体（ELIOS3）を使用し、目視飛行により対応した。

(b) 遊戯施設の検査においてドローンを使用する際、特に考慮する点

• 複雑な構造物が多いため、単純な構造物よりも衝突リスクが高い。よってケージを持つ ELIOS3 のような耐衝突性がない機体を使用する場合は風の影響などを考慮し、離隔距離を十分にとって飛行させること。

• 鉄骨造の構造物が多いため磁界の影響を受けやすい。耐磁界性のない機体を使用する場合は鉄骨造の構造物への接近のしすぎに注意する。

⇒ コースターにおける手動検査時（ELIOS3）では至近の離隔距離 0.41m に設定したが、他の機体（Matrice300RTK）においては突風による構造物への衝突や磁界の影響を考慮した十分な離隔距離をとった。高性能カメラ（ZemuseH20T）を搭載することで離隔距離のハンディキャップを補完でき、安全かつ精度の高い検査ができることが分かった。

• 観覧車のような大きな構造物を検査対象とする場合、飛行ルートが高度 150m という法的制限に抵触しないかどうかを確認する。

⇒ 本実証で最も大きな施設は熊本グリーンランドの観覧車レインボー（高さ 105m）であり、離隔距離を考慮しても 150m には達しないことを事前に確認した。大きな施設の検査に際してはこのような事前調査とともに、補助者の目視、およびプロポやモニターの高度表示などにも注意しておく必要がある。

### (3) 効率化の評価・分析

1.3 で示したドローンによる撮影画像に判断可能と考えられる検査項目について、準備時間も含めて、検査員による検査時間とドローンを使用した際の検査時間、費用が、どの程度効率化できるか比較検討した。

以下に（ア）コースターにおける人的検査の時間・費用、（イ）観覧車における人的検査の時間・費用、（ウ）コースターにおけるドローン検査（手動検査）の時間・費用、（エ）コースターにおけるドローン検査（自動検査）の時間・費用、（オ）観覧車におけるドローン検査の時間・費用をまとめる。

#### （ア）コースターにおける人的検査の時間・費用

コースターにおける人的検査にかかった時間、費用を調査した結果、直線部（（A1）電気設備（避雷設備）の検査も含む。）、スパイラル部（A2）で大きな違いはなく、それぞれ準備に 5 分、検査に 40 分から 50 分、片付けに 5 分の時間を要することが分かった。

また、検査にかかる費用については、各検査会社において人件費単価が異なることから本実証においては、検査員の人工で算出（以下、ドローン検査の場合も同様に人工で算出。）することとした。実証を行ったコースターの直線部（電気設備（避雷設備）の検査も含む。）、スパイラル部に要した人工は、検査員1名（人工）、検査員兼作業車オペレーター1名（人工）、監視員（検査は行わず主に通行人の危険回避のための監視を行う者を指す。以下同じ。）兼作業補助者1名（人工）の3名（人工）であった。なお、高所作業車（作業床高17m、積載荷重200kgf）のレンタル費用は3.1万円/1台・日であった。詳細を図53に示す。

人数	3名（検査員1名、検査員兼作業車オペレーター1名、監視員兼作業補助員1名）																					
備品・設備 ( )は式数	高所作業車（1） カラーコーン・パー（1）墜落制止用器具（2）打検用テストハンマー（2）記録用デジタルカメラ（2）																					
タイムスケジュール	<table border="1"> <thead> <tr> <th>時刻</th> <th>9:00</th> <th>10:00</th> <th>11:00</th> <th>12:00</th> <th>13:00</th> <th>14:00</th> <th>15:00</th> <th>16:00</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>遊戯施設検査</td> <td></td> <td></td> <td>準備</td> <td>A1部検査</td> <td>A2部検査</td> <td>片付</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		時刻	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	備考	遊戯施設検査			準備	A1部検査	A2部検査	片付			
時刻	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	備考													
遊戯施設検査			準備	A1部検査	A2部検査	片付																
作業フロー	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">A1部</th> <th colspan="2">A2部</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>準備（設備・備品、工事区画、高所作業車の配備）</td> <td>準備時間 5分</td> <td>準備（設備・備品、工事区画、高所作業車の配備）</td> <td>準備時間 5分</td> </tr> <tr> <td>           走路移動（歩廊）            柱12-15番間 軌条・枕木・桁上部検査（歩廊）         </td> <td rowspan="7">           6.5分            33分            10分         </td> <td>           柱・梁12番検査（高所作業車 ※以降同様）            柱12-13番間 軌条・枕木・桁下部検査            柱・梁13番検査            工事区画、高所作業車配備替え            柱・梁15番検査            柱・梁14番検査            柱13-15番間 軌条・枕木・桁下部検査            工事区画、高所作業車配備替え            避雷設備検査         </td> <td>           検査時間 49.5分            軌条・枕木・桁・アーチ部検査            検査時間 40分         </td> </tr> <tr> <td>片付け（設備及び工事区画撤去）</td> <td>片付け時間 5分</td> <td>片付け（設備及び工事区画撤去）</td> <td>片付け時間 5分</td> </tr> </tbody> </table>		A1部		A2部		準備（設備・備品、工事区画、高所作業車の配備）	準備時間 5分	準備（設備・備品、工事区画、高所作業車の配備）	準備時間 5分	走路移動（歩廊） 柱12-15番間 軌条・枕木・桁上部検査（歩廊）	6.5分 33分 10分	柱・梁12番検査（高所作業車 ※以降同様） 柱12-13番間 軌条・枕木・桁下部検査 柱・梁13番検査 工事区画、高所作業車配備替え 柱・梁15番検査 柱・梁14番検査 柱13-15番間 軌条・枕木・桁下部検査 工事区画、高所作業車配備替え 避雷設備検査	検査時間 49.5分 軌条・枕木・桁・アーチ部検査 検査時間 40分	片付け（設備及び工事区画撤去）	片付け時間 5分	片付け（設備及び工事区画撤去）	片付け時間 5分				
A1部		A2部																				
準備（設備・備品、工事区画、高所作業車の配備）	準備時間 5分	準備（設備・備品、工事区画、高所作業車の配備）	準備時間 5分																			
走路移動（歩廊） 柱12-15番間 軌条・枕木・桁上部検査（歩廊）	6.5分 33分 10分	柱・梁12番検査（高所作業車 ※以降同様） 柱12-13番間 軌条・枕木・桁下部検査 柱・梁13番検査 工事区画、高所作業車配備替え 柱・梁15番検査 柱・梁14番検査 柱13-15番間 軌条・枕木・桁下部検査 工事区画、高所作業車配備替え 避雷設備検査	検査時間 49.5分 軌条・枕木・桁・アーチ部検査 検査時間 40分																			
片付け（設備及び工事区画撤去）		片付け時間 5分	片付け（設備及び工事区画撤去）	片付け時間 5分																		
作業時間（部別）																						
アクセス性		<p>「A1部は直線的かつ平面的な構造のため、高所作業車のバケットは構造部に近付き易く、検査部位間の移動もしやすい。」</p> <p>「A2部は曲線的かつ立体的な構造のため、高所作業車のバケットは手前にある構造部材により奥の構造に寄り付きにくく、細やかな操作を要し検査部位間の移動に時間がかかる。」</p>																				
費用		<table border="0"> <tr> <td>人工：</td> <td>建設機械：</td> </tr> <tr> <td>検査員 1名</td> <td>高所作業車：作業床高17m, 積載荷重200kgf 3.1万円</td> </tr> <tr> <td>検査員兼作業車オペレーター 1名</td> <td></td> </tr> <tr> <td>監視員兼作業補助員 1名</td> <td></td> </tr> </table>		人工：	建設機械：	検査員 1名	高所作業車：作業床高17m, 積載荷重200kgf 3.1万円	検査員兼作業車オペレーター 1名		監視員兼作業補助員 1名												
人工：		建設機械：																				
検査員 1名		高所作業車：作業床高17m, 積載荷重200kgf 3.1万円																				
検査員兼作業車オペレーター 1名																						
監視員兼作業補助員 1名																						

図 53 コースターにおける人的検査時間と費用

(イ) 観覧車における人的検査の時間・費用

観覧車における人的検査にかかった時間、費用を調査した結果、準備に5分、検査に45分、片付けに5分の時間を要することが分かった。

また、検査にかかる費用について、検査に要した人工は、検査員2名（人工）、検査員兼作業車オペレーター1名（人工）、監視員兼作業補助者1名（人工）の4名（人工）であった。なお、高所作業車（作業床高27m、積載荷重200kgf）のレンタル費用は4.5万円/1台・日であった。

詳細を図54に示す。

人数	4名（検査員2名、検査員兼作業車オペレーター1名、監視員兼作業補助員1名）																																		
備品・設備 ( )は式数	高所作業車（1） カラーコーン・バー（1） 墜落制止用具（3） 打検用テストハンマー（3） 記録用デジタルカメラ（3）																																		
タイム スケジュール	時刻	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	備考																							
	遊戯施設検査		準備 回転検査片付け	検査内容 質疑回答等																															
作業 フロー	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center; background-color: black; color: white; padding: 2px;">回転輪 第1～7節</p> <p style="text-align: center; background-color: #e0e0e0; padding: 2px;">準備（設備・備品、工事区画、高所作業車の配備）</p> <p style="text-align: center; background-color: #e0e0e0; padding: 2px;">支柱移動（梯子）※2班東西で併行検査</p> <p style="text-align: center; background-color: #e0e0e0; padding: 2px;">回転輪 第1節検査（梯子）</p> <p style="text-align: center; background-color: #e0e0e0; padding: 2px;">回転輪 第2節検査（踊場）</p> <p style="text-align: center; background-color: #e0e0e0; padding: 2px;">回転輪 第7節検査（梯子）</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center; background-color: black; color: white; padding: 2px;">回転輪 第8～11節</p> <p style="text-align: center; background-color: #e0e0e0; padding: 2px;">回転輪 第8節 東側検査（高所作業車 ※以降同様）</p> <p style="text-align: center; background-color: #e0e0e0; padding: 2px;">回転輪 第11節 東側検査</p> <p style="text-align: center; background-color: #e0e0e0; padding: 2px;">工事区画、高所作業車配備替え</p> <p style="text-align: center; background-color: #e0e0e0; padding: 2px;">回転輪 第8節 東側検査（高所作業車 ※以降同様）</p> <p style="text-align: center; background-color: #e0e0e0; padding: 2px;">回転輪 第11節 東側検査</p> </div> </div>																																		
作業時間 (部別)	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="width: 45%; border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center; background-color: #e0e0e0; padding: 2px;">準備時間 5分</p> </div> <div style="width: 45%; border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center; background-color: #e0e0e0; padding: 2px;">検査時間 45分</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: flex-end; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">片付け時間 5分</div> </div>																																		
アクセス性	<p>「直線的かつ平面的な構造のため、高所作業車のバケットは構造部に近付き易く、検査部位間の移動もしやすい。」</p> <p>「支柱梯子の踊り場は、一部構造部から若干離れている箇所があり60cm以上離れることもある。」</p>																																		
費用	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">人工：</td> <td colspan="2"></td> <td style="width: 50%;">建設機械：</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>検査員</td> <td style="text-align: right;">2名</td> <td></td> <td>高所作業車：</td> <td style="text-align: right;">作業床高27m、積載荷重200kgf</td> <td style="text-align: right;">4.5万円</td> </tr> <tr> <td>検査員兼作業車オペレーター</td> <td style="text-align: right;">1名</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>監視員兼作業補助員</td> <td style="text-align: right;">1名</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>											人工：			建設機械：			検査員	2名		高所作業車：	作業床高27m、積載荷重200kgf	4.5万円	検査員兼作業車オペレーター	1名					監視員兼作業補助員	1名				
人工：			建設機械：																																
検査員	2名		高所作業車：	作業床高27m、積載荷重200kgf	4.5万円																														
検査員兼作業車オペレーター	1名																																		
監視員兼作業補助員	1名																																		

図 54 観覧車における人的検査時間と費用

(ウ) コースターにおけるドローン検査（手動検査）の時間・費用

コースターにおけるドローン検査（手動検査）にかかった時間、費用を調査した結果、直線部（（A1）電気設備（避雷設備）の検査も含む。）では、準備時間に 17 分、検査に 111 分、片付けはスパイラル部の後に行うため、時間は含めていない。

スパイラル部（A2）では、準備は A1 で行っているので時間は含めず、検査に 64 分、片付けに 20 分の時間を要することが分かった。

また、検査にかかる費用については、コースターの直線部、スパイラル部に要した人工は、操縦者 1 名（人工）、補助者 1 名（人工）、モニターチェック要員（検査員） 1 名（人工）の 3 名（人工）であった。ドローンの費用については、使用するドローンの原価から年間の減価償却費用を計算し、1 台・1 日あたりの機材使用費用を算出した。Flyability 社 ELIOS3 は、原価 800 万円、耐用年数 4 年、想定年間稼働日数 40 日（運用実績から想定した日数）とし、費用は 5 万円/1 台・日であった。

詳細は図 55 に示す。

人数	3名（操縦者1名、補助者1名、モニターチェック要員1名）																																								
備品・設備 ( )は式数	機体（2）送信機（1）バッテリー（18）バッテリースーツケース（1）ホイップアンテナ（1）タブレットPC（2）タブレット用三脚（2）モニター（1）風速計（1）距離計（1）コードリール（1）ホワイトボード（1）ヘルメット（4）机、椅子（2）																																								
使用機体 スペック	【機体】Flyability ELIOS 3 大きさ:380×480 mm 重量:1.45Kg プロペラ数:4 耐風性:8.0m/s 通信距離:水平 500m 鉛直 150m 【カメラ】動画画質:4K (3840×2160) 写真画質:1/2.3 CMOS (4000×3000) 飛行モード:(アシストモード)姿勢制御+高度維持+自己位置固定 離隔距離:0.41m																																								
タイム スケジュール	<table border="1"> <thead> <tr> <th>時刻</th> <th>9:00</th> <th>10:00</th> <th>11:00</th> <th>12:00</th> <th>13:00</th> <th>14:00</th> <th>15:00</th> <th>16:00</th> <th>17:00</th> <th>18:00</th> <th>19:00</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>遊戯施設ドローン 検査タイムスケ ジュール</td> <td></td> <td>準備</td> <td>A1部検査</td> <td>昼休憩 / 移動</td> <td>A2部検査</td> <td>A2部検査</td> <td>A2部検査</td> <td>片付け</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>実績値</td> <td></td> <td>準備</td> <td>A1部検査</td> <td>昼休憩</td> <td>A1部検査</td> <td>A2部検査</td> <td>A2部検査</td> <td>片付け</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>バッテリー充電は6本分</td> </tr> </tbody> </table> <p>▲ 強風による中止 ▲ バッテリー充電</p>		時刻	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	備考	遊戯施設ドローン 検査タイムスケ ジュール		準備	A1部検査	昼休憩 / 移動	A2部検査	A2部検査	A2部検査	片付け					実績値		準備	A1部検査	昼休憩	A1部検査	A2部検査	A2部検査	片付け				バッテリー充電は6本分
時刻	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	備考																													
遊戯施設ドローン 検査タイムスケ ジュール		準備	A1部検査	昼休憩 / 移動	A2部検査	A2部検査	A2部検査	片付け																																	
実績値		準備	A1部検査	昼休憩	A1部検査	A2部検査	A2部検査	片付け				バッテリー充電は6本分																													
作業フロー および 作業時間	<p>(*1) 強風による飛行中止2回分を含む。 (*2) A1柱・梁12番、15番の検査時間は実施していないため含まれない。 (*3) 同一飛行ルートを2回実施。</p>																																								
操作 難易性など	<ul style="list-style-type: none"> <li>・A1部は歩廊ルートをはじめ、手動操作による飛行ルートの追従は概ね可能であったが、強風により離隔距離0.41mは維持できているところとできていないところがあった。</li> <li>・A2部は軌条ルートをはじめ、飛行ルートの追従は極めて高度な操作技術を要す。</li> </ul>																																								
エラー発生 状況等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コンパス及びキャリブレーションなどのエラーはなかった。</li> <li>・強風による飛行中断が2回（いずれもリトライし、撮像成功）</li> <li>・近接撮影時、強風によりドローンが構造物に衝突することがあったが、使用機体（ELIOS3）はケージ付きのため支障はなかった。</li> </ul>																																								
費用	人工 操縦者1名 補助者1名 モニターチェック要員（検査員）1名	機材費用 ドローン(ELIOS3) 1台 5万円/台・日																																							

図 55 コースターにおけるドローン検査（手動検査）時間と費用

(工) コースターにおけるドローン検査（自動検査）の時間・費用

コースターにおけるドローン検査（自動検査）にかかった時間、費用を調査した結果、直線部（（A1）電気設備（避雷設備）の検査も含む。）では、準備時間に15分、検査に86分、片付けはスパイラル部の後に行うため、時間は含めず。なお、3D点群データの取得は、初回の準備時等に行えば、その後の検査では継続してそのデータを用いることができ、検

査の度に 3D 点群データを取得する必要はないため、ドローン検査（自動検査）の時間には含めないこととした。

スパイラル部（A2）では、準備は A1 で行っているので時間は含めず、検査に 121 分、片付けに 10 分の時間を要することが分かった。

また、検査にかかる費用については、コースターの直線部、スパイラル部に要した人工は、操縦者 1 名（人工）、飛行管理者 1 名（人工）、補助者 1 名（人工）、技術サポート（飛行計画入力等）1 名（人工）の 4 名（人工）であった。ドローンの費用については、使用するドローンの原価から年間の減価償却費用を計算し、1 台・1 日あたりの機材使用費用を算出した。DJI 社 Matrice300RTK は、原価は機材一式含め約 178 万円、耐用年数 4 年（部品により異なる）、想定年間稼働日数 40 日とし、費用は 1.3 万円/一式※・日であった。

※Matrice300RTK は、本体、カメラ、バッテリー、充電ステーション等、メーカーにより別セットとなるため、「一式」と表現する（以下同じ。）。

詳細は図 56 に示す。

人数	4名（操縦者1名、運航管理者1名、補助者1名、技術サポート（飛行計画入力等）1名）																																																																																																																																															
備品・設備 ( )は式数	機体（1）バッテリー（7）簡易デスク（1）簡易チェア（1）ノートPC（飛行計画編集等）（1）ポータブルバッテリー（2）コードリール（1）																																																																																																																																															
使用機体スペック	【機体】Matrice300RTK 大きさ:890×890mm 重量:6.30Kg プロペラ数:4 耐風性能:15.0m/s 最大伝送距離:8000m（日本） 【カメラ】Zenmuse H20T 動画画質:4K（3840×2160 30fps） 写真画質:1/1.7CMOS（5184×3888）																																																																																																																																															
タイムスケジュール	<table border="1"> <thead> <tr> <th>時刻</th> <th>9:00</th> <th>10:00</th> <th>11:00</th> <th>12:00</th> <th>13:00</th> <th>14:00</th> <th>15:00</th> <th>16:00</th> <th>17:00</th> <th>18:00</th> <th>19:00</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>遊戯施設ドローン検査</td> <td>準備</td> <td>A1部検査</td> <td>昼休憩/移動</td> <td></td> <td>A2部検査</td> <td>飛行確認</td> <td>片付け</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>タイムスケジュール</td> <td></td> <td>模範劣化サンプル検証</td> <td></td> <td></td> <td>模範劣化サンプル検証</td> <td></td> <td>模範劣化サンプル</td> <td></td> <td>模範劣化サンプル検証</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>実績値</td> <td></td> <td></td> <td>雨天のため待機（天気の良い日待ち）</td> <td></td> <td>準備</td> <td>A1部検査</td> <td>移動</td> <td>A2部検査</td> <td>片付け</td> <td></td> <td></td> <td>午前には雨天かつ気温が低く、機体の低温エラーが発生。模範劣化サンプル検証は夜の部（Elios3）を除き中止。</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>▲天気好転</td> <td>▲RTKエラー</td> <td></td> <td>▲位置ズレ</td> <td>▲位置ズレ</td> <td>▲修正座標</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>時刻</th> <th>9:00</th> <th>10:00</th> <th>11:00</th> <th>12:00</th> <th>13:00</th> <th>14:00</th> <th>15:00</th> <th>16:00</th> <th>17:00</th> <th>18:00</th> <th>19:00</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>遊戯施設ドローン検査</td> <td>デモ準備</td> <td>A1部・A2部 実証デモ</td> <td>昼休憩 / 移動</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>タイムスケジュール</td> <td></td> <td>模範劣化サンプル検証#</td> <td></td> <td></td> <td>模範劣化サンプル検証#</td> <td></td> <td>デモ確認</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>実績値</td> <td>準備</td> <td>A1部検査</td> <td>移動</td> <td>A2部検査</td> <td>片付け</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>▲飛行計画アプリ</td> <td>▲位置ズレ問題対応</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>模範劣化サンプル検証#1,2,3 撮影</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>▲オプリーク撮影飛行</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	時刻	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	備考	遊戯施設ドローン検査	準備	A1部検査	昼休憩/移動		A2部検査	飛行確認	片付け						タイムスケジュール		模範劣化サンプル検証			模範劣化サンプル検証		模範劣化サンプル		模範劣化サンプル検証				実績値			雨天のため待機（天気の良い日待ち）		準備	A1部検査	移動	A2部検査	片付け			午前には雨天かつ気温が低く、機体の低温エラーが発生。模範劣化サンプル検証は夜の部（Elios3）を除き中止。						▲天気好転	▲RTKエラー		▲位置ズレ	▲位置ズレ	▲修正座標			時刻	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	備考	遊戯施設ドローン検査	デモ準備	A1部・A2部 実証デモ	昼休憩 / 移動										タイムスケジュール		模範劣化サンプル検証#			模範劣化サンプル検証#		デモ確認						実績値	準備	A1部検査	移動	A2部検査	片付け										▲飛行計画アプリ	▲位置ズレ問題対応									模範劣化サンプル検証#1,2,3 撮影				▲オプリーク撮影飛行									
時刻	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	備考																																																																																																																																				
遊戯施設ドローン検査	準備	A1部検査	昼休憩/移動		A2部検査	飛行確認	片付け																																																																																																																																									
タイムスケジュール		模範劣化サンプル検証			模範劣化サンプル検証		模範劣化サンプル		模範劣化サンプル検証																																																																																																																																							
実績値			雨天のため待機（天気の良い日待ち）		準備	A1部検査	移動	A2部検査	片付け			午前には雨天かつ気温が低く、機体の低温エラーが発生。模範劣化サンプル検証は夜の部（Elios3）を除き中止。																																																																																																																																				
					▲天気好転	▲RTKエラー		▲位置ズレ	▲位置ズレ	▲修正座標																																																																																																																																						
時刻	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	備考																																																																																																																																				
遊戯施設ドローン検査	デモ準備	A1部・A2部 実証デモ	昼休憩 / 移動																																																																																																																																													
タイムスケジュール		模範劣化サンプル検証#			模範劣化サンプル検証#		デモ確認																																																																																																																																									
実績値	準備	A1部検査	移動	A2部検査	片付け																																																																																																																																											
		▲飛行計画アプリ	▲位置ズレ問題対応									模範劣化サンプル検証#1,2,3 撮影																																																																																																																																				
			▲オプリーク撮影飛行																																																																																																																																													
作業フローおよび作業時間	<p>全ケースを網羅できた 12/13実施分で集計</p> <p>準備時間 15分</p> <p>A1部検査時間 86分</p> <p>A2部検査時間 121分</p> <p>片付け時間 10分</p> <p>(*1) 位置ズレ再発原因究明と手動オプリーク撮影飛行を合わせて39分 (*2) ジンバルを修正し、再実行</p>																																																																																																																																															
操作難易性など	<ul style="list-style-type: none"> <li>自動検査のため、手動操作に比して操縦者負担は少ない。</li> <li>データやシステムの不具合に伴う対応（位置ズレなどによりその場での点群再取得など）には臨機応変さとスキルが求められる。</li> </ul>																																																																																																																																															
エラー発生状況等	<ul style="list-style-type: none"> <li>低温エラー発生（初日）</li> <li>RTKエラー発生（初日）</li> <li>位置ズレ発生及び補正作業実施（初日）</li> <li>計画座標値と実際値のズレ発覚。手動検査にて座標値を再取得。位置ズレ再発（2日目）。3Dモデル自体がずれている可能性があるため、臨時でオプリーク撮影を行い、取得画像をもとに点群及び飛行計画（飛行ファイル）再作成。これにより位置ズレ解消</li> </ul>																																																																																																																																															
費用	<table border="0"> <tr> <td>人工</td> <td></td> <td>機材費用</td> </tr> <tr> <td>操縦者</td> <td>1名</td> <td>ドローン(DJI Matrice300RTK) 1式</td> </tr> <tr> <td>飛行管理者</td> <td>1名</td> <td>1.3万円/一式・日</td> </tr> <tr> <td>補助者</td> <td>1名</td> <td></td> </tr> <tr> <td>自動飛行計画技術</td> <td>1名</td> <td></td> </tr> </table>	人工		機材費用	操縦者	1名	ドローン(DJI Matrice300RTK) 1式	飛行管理者	1名	1.3万円/一式・日	補助者	1名		自動飛行計画技術	1名																																																																																																																																	
人工		機材費用																																																																																																																																														
操縦者	1名	ドローン(DJI Matrice300RTK) 1式																																																																																																																																														
飛行管理者	1名	1.3万円/一式・日																																																																																																																																														
補助者	1名																																																																																																																																															
自動飛行計画技術	1名																																																																																																																																															

図 56 コースターにおけるドローン検査（自動検査）時間と費用

(オ) 観覧車におけるドローン検査の時間、費用

観覧車におけるドローン検査（手動検査）にかかった時間、費用を調査した結果、準備時間に 11 分、検査に 51 分、片付けに 30 分の時間を要することが分かった。

また、検査にかかる費用については、操縦者 1 名（人工）、飛行管理者 1 名、補助者 1 名（人工）の 3 名（人工）であった。なお、使用ドローンは（エ）コースターにおけるドローン検査（自動検査）の時間・費用のドローンと同じく、DJI Matrice300RTK であり、費用は 1.3 万円/一式・日であった。

詳細は図 57 に示す。

人数	2名（操縦者1名、補助者1名）							
備品・設備 ( )は式数	機体（2）送信機（1）バッテリー（18）バッテリーケース（1）タブレットPC（2）タブレット用三脚（2）モニター（1）風速計（1）距離計（1）コードリール（1）ホワイトボード（1）ヘルメット（4）机、椅子（1）							
使用機体スペック	【機体】Matrice300RTK 大きさ:890×890mm 重量:6.30Kg プロペラ数:4 耐風性能:15.0m/s 最大伝送距離:8000m（日本） 【カメラ】Zenmuse H20T 動画画質:4K（3840×2160 30fps） 写真画質:1/1.7CMOS（5184×3888）							
タイムスケジュール	時刻	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00
	遊戯施設ドローン検査 タイムスケジュール		準備 試験飛行	移動 実証 (3時方向)	移動 実証 (9時方向)	昼休憩	データ確認 片付け	
実績値		準備 試験飛行	移動 実証 3時 移動等	移動 実証 9時 説明等	昼休憩	データ確認 片付け		
作業フロー および 作業時間								
操作 難易性など	<ul style="list-style-type: none"> <li>飛行ルートが単純なため飛行自体が安定しており、検査員の画面酔いの心配が少ない。</li> <li>フランジ部分はスポークが集中するため死角が生じ、撮影が難しいと思われたが問題なく撮像できた。</li> <li>手動検査では木や柱などに注意が必要。</li> </ul>							
エラー発生 状況等	<ul style="list-style-type: none"> <li>離隔距離を十分にとって最大ズームで撮像したことも助けとなり、コンパス及びキャリブレーションなどのエラーはなかった。</li> </ul>							
費用	人工 操縦者 1名 飛行管理者 1名 補助者 1名			機材費用 ドローン(DJI Matrice300RTK) 1式 1.3万円/一式・日				

図 57 観覧車におけるドローン検査（手動検査）時間と費用

図 53 から図 57 の結果について、人的検査とドローン検査（手動検査・自動検査）でかかった時間と費用を表 7 示す。

表 7 人的検査とドローン検査（手動検査・自動検査）に係る時間・費用一覧

機種 実証方法	コースター			観覧車	
	人的検査	ドローン検査		人的検査	ドローン検査
		手動検査	自動検査		
作業時間	【A1部】 準備 5.0分 検査 49.5分 片付け 5.0分 【A2部】 準備 5.0分 検査 40.0分 片付け 5.0分 合計 109.5分	【A1部】 準備 17.0分 検査 111.0分 【A2部】 検査 64.0分 片付け 20.0分 合計 212.0分	【A1部】 準備 15.0分 検査 86.0分 【A2部】 検査 121.0分 片付け 10.0分 合計 232.0分	準備 5.0分 検査 45.0分 片付け 5.0分 合計 55.0分	準備 11.0分 検査 51.0分 片付け 30.0分 合計 92.0分
費用	【人工】 検査員 1名 兼 OP 1名 監視員 1名 合計 3名 【機材等】 高所作業車 3.1万円	【人工】 操縦者 1名 補助者 1名 検査員 1名 合計 3名 【機材等】 ドローン (ELIOS3) 5万円	【人工】 操縦者 1名 飛行管理 1名 補助者 1名 飛行計画 1名 合計 4名 【機材等】 ドローン (Matris300RTK) 1.3万円	【人工】 検査員 2名 兼 OP 1名 監視員 1名 合計 4名 【機材等】 高所作業車 4.5万円	【人工】 操縦者 1名 飛行管理 1名 補助者 1名 合計 3名 【機材等】 ドローン (Matris300RTK) 1.3万円

この結果から、ドローン（手動検査、自動検査ともに）を使用したことにより検査時間の短縮には至らなかった。

この理由として、ドローンを用いた検査に関しても、撮影画像を検査員が確認する必要があり、確認する時間は人的検査と同等にかかるためである。

また、コースターの検査で見た場合、人的検査とドローン検査（手動検査、自動検査ともに）で準備時間に差は殆どなく、ドローン検査の方が 10 分程度多くかかった。検査時間については、人的検査が A1 部、A2 部合わせて 89.5 分かかったのに対し、ドローン検査（手動検査）では 175 分かかっている。片付けについては、両検査とも 5 から 20 分程度である。ドローンの自動検査では、準備時間はドローン検査と殆ど変わりなく、検査時間は 207 分と手動検査よりも時間を要する結果となった。これはドローンがプログラムされたルートで自動で飛行するにあたり、周囲への衝突等をセンサーで感知しながら飛行するため、手動よりも時間を要する。

観覧車の検査については、人的検査とドローン検査（手動検査、自動検査ともに）で準備時間に差は殆どなく、ドローン検査の方が 5 程度多くかかった。検査時間については、人的検査が 45 分かかったのに対し、ドローン検査では 51 分と殆ど変わらない。片付けについては、人的検査が 5 分、ドローン検査が 30 分とドローン検査の方が時間を要する結果となった。

今回の実証では高所作業車で確認できる範囲を行ったため、ドローン検査の方が全体的に時間を要したが、足場の設置が必要な遊戯施設を検査する場合は、足場設置時間等を考慮するとドローン検査の方が効率がよいとも言える。

また、ドローン検査は、高所作業車等の手配も不要なため、日常の保守点検にも活用でき、確認する頻度を増やせば、是正箇所を早期発見でき、その結果、修理費用の軽減にも繋がるものと考えられる。

もう一つは、遊戯施設は大型でかつ曲線部分が多いものも多々あり、高所作業車を使用して

も検査員の目視が困難な箇所が存在するが、ドローンを使用すれば効率よく、それらの箇所の検査を行うことができるため、これらのことを考慮すれば検査にドローンを導入することは効率化に繋がるものと考えられる。

検査にかかる費用に関し、コースターの検査で考察すると、今回のA1、A2部分の検査に関し、人的検査は3人工、高所作業車3.1万円であったものに対し、手動によるドローン検査は、3人工（自動検査は4人工）、ドローン費用5万円程度（年間の減価償却費を計算した価格。自動検査は1.3万円程度）かかる結果で、検査人員の人工については人的検査と変わらないが、ドローンの費用が高所作業車の費用よりもかかる結果となった。これも先に記したように足場の設置が必要な遊戯施設を検査する場合は、規模にもよるが足場設置費用の方がかかることが想定される。また、日常の保守点検にドローンを使用した場合も減価償却費を考慮すると、使用頻度に応じてドローン検査の方が安価になることも考えられる。

#### (4) 総合評価

ドローンを用いた遠隔操作による遊戯施設の定期検査について、検査員による人的検査と同等以上の検査精度と安全性の確保、ならびに作業効率化等に関する実証をした。

遊戯施設の模擬劣化サンプル品ならびに代表的な遊戯施設（コースター、観覧車）についての実証によって、以下の結果を得ることができた。

(ア) 検査精度については、3.2節で述べたようにドローン搭載カメラが必要十分な分解能ならびに光度を確保することができれば、今回実証を行った検査項目に関して、人的検査と同等以上の検査精度を確保できることが実証できた。

また、逆光や夜間などカメラにとって不利な条件下での検査について課題が残るが、このような条件は人的検査においても同じで現在は、そのような状況を避けて検査を行っている。

この課題に対して、赤外線カメラと組み合わせた遠隔検査を行うことで人的検査以上の精度を確保できる可能性もある。

(イ) 安全性については、高所あるいは高所作業車のような閉所での人的検査では、検査遂行にあたって転落や挟まれリスクが伴うだけでなく、遊戯施設の機種によっては検査員の目視が困難となる部位が存在することもあり、労働災害防止の観点から十分な安全対策を講ずる必要がある。ドローンによる遠隔検査ではドローンの落下や構造物への衝突などに対する対策が確保されていれば、検査員や補助員に対するリスクは大幅に軽減されるものと目される。

(ウ) 効率化については、遊戯施設の構造形態にもよるが、少なくとも高所作業車の届かない範囲での検査作業等については、足場設置などの手順や経費を考慮するとドローンによる遠隔検査の方が効率がよいものと考えられる。今回の実証結果（コースターならびに観覧車）では、人的検査とドローン検査の作業時間を比較すると、従来の人的検査の方が短時間で検査できる結果となった。また、必要経費に対する比較でもドローン検査の方が高価となる結果だが、日常の保守点検にドローンを使用した場合、減価償却費を考慮すると、使用頻度に応じてドローン検査の方が安価になることも考えられる。

さらに、ドローンを使用した場合の間接的な効果としては、ドローンを使用した遠隔検査は、高所作業車等の手配も不要なため、日常の点検にも活用でき、点検頻度を増やせば、是正箇所を早期発見でき、その結果、修理費用の軽減にも繋がるものと考えられる。

一方で、ドローンを活用した定期検査を行う場合、ドローンの操縦資格を検査員が取得するか、ドローンによる検査会社に検査業務を委託する方法が考えられるが、近年、ドローンの操縦資格は比較的容易に取得できるため、現在でも遊戯施設の保守会社等では検査員にドローンの操縦資格を取得させ、業務を行っているところも見受けられる。遊戯施設は簡易な形状のものから曲線や直線部を組み合わせた複雑な構造のものまで、幅広く存在するため、検査を行う対象が比較的簡易な遊戯施設であれば、検査員がドローンの操縦資格を取得して定期検査のみならず、日常の保守点検においてもドローンを活用することがよいかと考えるが、複雑な形状の遊戯施設については、熟練の飛行技術を要するため、衝突等のリスクを考えるとドローンの検査会社に依頼した方がよいと考える。

以上の結果から、カメラが十分な分解能ならびに光度を確保し、ドローンの落下や構造物への衝突などに対する対策が確保されていれば人的検査と同等以上の検査精度を確保できるものと考えられる。このことから、遊戯施設定期検査告示（1.3の表1に示す9つの項目（検査事項））に示されている検査方法を「目視により確認する」から「目視等により確認する」へ改正することにより、ドローンに登載されたカメラによる撮影画像により十分に判断することも可能と考えられ、デジタル技術を活用したアナログ規制の見直しに資するものと考えられる。

なお、今回実証をおこなったドローンの自動検査については、将来的に可能であることが確認されたが、要点検や要是正の識別を行う段階までには、機械学習やデータクレンジング、識別器の開発と実証が必要と考えられる。

【遊戯施設定期検査告示の改正案】 ※下線部分の改正を提案

(現行)

一 構造部分

(い)検査項目	(ろ)検査事項	(は)検査方法	(に)判定基準
(五) 構造物	構造部材及び補助部材の取付けの状況	テストハンマーによる打検又は目視による緩み確認マークの位置の確認その他ナットの緩みを確認できる方法により確認する。	構造部材又は補助部材の取付けが堅固でないこと。
	構造部材の腐食の状況	目視により確認し、腐食が認められた場合にあつては、腐食を除去して部材厚さが最も薄い箇所を測定する。	イ 腐食により部材の残存厚みが設置時の厚みの90%未満であること。 ロ 著しい錆又は腐食があること。
	補助部材の腐食の状況	目視により確認し、腐食が認められた場合にあつては、腐食を除去して部材厚さが最も薄い箇所を測定する。	イ 腐食により部材の残存厚みが設置時の厚みの90%未満であること。 ロ 著しい錆又は腐食があること。
	構造部材の変形、偏位、き裂及び破損の状況	目視により確認する。	構造部材に変形、偏位、き裂又は破損があること。
	構造部材の接合部分の緩み及びき裂の状況	き裂を目視により確認するとともに、テストハンマーによる打検又は目視による緩み確認マークの位置の確認その他ナットの緩みを確認できる方法により確認する。	接合部に緩みがあること又は溶接部にき裂があること。

## 二 軌道部分

(い)検査項目	(ろ)検査事項	(は)検査方法	(に)判定基準
(一)軌条、軌道、水路及び滑走路	軌条、軌道及び水路のき裂及び変形の状況	目視により確認する。	き裂又は変形があること。
	軌条、軌道及び水路の錆及び腐食の状況	目視により確認し、腐食が認められた場合にあっては、腐食を除去して部材の厚さが最も薄い箇所を測定する。	イ 腐食により部材の残存厚みが設置時の厚みの 90% 未満であること。 ロ 著しい錆又は腐食があること。
	軌条、軌道及び水路の接合部の緩み及びき裂の状況	き裂を目視により確認するとともに、テストハンマーによる打検又は目視による緩み確認マークの位置の確認その他ナットの緩みを確認できる方法により確認する。	接合部に緩みがあること又は溶接部にき裂があること。

## 九 電気設備

(い)検査項目	(ろ)検査事項	(は)検査方法	(に)判定基準
(四)避雷設備	突針、支持金物、引下げ導線等の取付けの状況	目視により確認する。	突針、支持金物、引下げ導線等の取付けが堅固でないこと。

### (改正案)

#### 一 構造部分

(い)検査項目	(ろ)検査事項	(は)検査方法	(に)判定基準
(五) 構造物	構造部材及び補助部材の取付けの状況	テストハンマーによる打検又は目視等による緩み確認マークの位置の確認その他ナットの緩みを確認できる方法により確認する。	構造部材又は補助部材の取付けが堅固でないこと。
	構造部材の腐食の状況	目視等により確認し、腐食が認められた場合にあっては、腐食を除去して部材厚さが最も薄い箇所を測定する。	イ 腐食により部材の残存厚みが設置時の厚みの 90% 未満であること。 ロ 著しい錆又は腐食があること。
	補助部材の腐食の状況	目視等により確認し、腐食が認められた場合にあっては、腐食を除去して部材厚さが最も薄い箇所を測定する。	イ 腐食により部材の残存厚みが設置時の厚みの 90% 未満であること。 ロ 著しい錆又は腐食があること。
	構造部材の変形、偏位、き裂及び破損の状況	目視等により確認する。	構造部材に変形、偏位、き裂又は破損があること。
	構造部材の接合部分の緩み及びき裂の状況	き裂を目視等により確認するとともに、テストハンマーによる打検又は目視等による緩み確認マークの位置の確認その他ナットの緩みを確認できる方法により確認する。	接合部に緩みがあること又は溶接部にき裂があること。

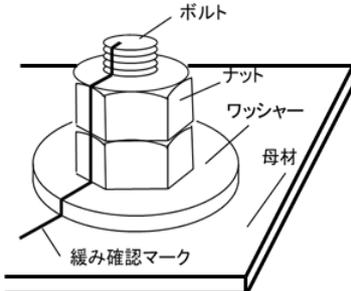
## 二 軌道部分

(い)検査項目	(ろ)検査事項	(は)検査方法	(に)判定基準
(一)軌条、軌道、水路及び滑走路	軌条、軌道及び水路のき裂及び変形の状況	目視等により確認する。	き裂又は変形があること。
	軌条、軌道及び水路の錆及び腐食の状況	目視等により確認し、腐食が認められた場合にあっては、腐食を除去して部材の厚さが最も薄い箇所を測定する。	イ 腐食により部材の残存厚みが設置時の厚みの 90% 未満であること。 ロ 著しい錆又は腐食があること。
	軌条、軌道及び水路の接合部の緩み及びき裂の状況	き裂を目視等により確認するとともに、テストハンマーによる打検又は目視等による緩み確認マークの位置の確認その他ナットの緩みを確認できる方法により確認する。	接合部に緩みがあること又は溶接部にき裂があること。

## 九 電気設備

(い)検査項目	(ろ)検査事項	(は)検査方法	(に)判定基準
(四)避雷設備	突針、支持金物、引下げ導線等の取付けの状況	目視等により確認する。	突針、支持金物、引下げ導線等の取付けが堅固でないこと。

用語集

用語	定義・解説
<p>緩み確認マーク (合いマーク)</p>	<p>図のように、ナットから出ているネジの部分から、ナット、ワッシャー、母材までに線を引いておく。 そこで、ボルトが緩んでいると、この線がずれるので目視でボルトの緩みを判断することができる。</p>  <p>The diagram shows a bolt assembly consisting of a bolt, a nut, a washer, and a base material. A line is drawn from the top of the bolt, through the nut, washer, and base material, to create a 'slack check mark'. Labels in Japanese identify the bolt (ボルト), nut (ナット), washer (ワッシャー), and base material (母材). The mark itself is labeled as '緩み確認マーク' (Slack Check Mark).</p>
<p>昇降機等検査員</p>	<p>建築基準法第 12 条 3 項の昇降機及び遊戯施設の定期検査、同条第 4 項の昇降機及び遊戯施設の定期点検を行うことができる資格者（国家資格）。</p>
<p>ジンバル</p>	<p>カメラに設置するスタビライザーのことをいい、ドローンが傾いた際や揺れた際にもカメラのブレを軽減するための制御装置。</p>
<p>プロポ</p>	<p>ドローンの送信機の俗称で、プロポーションナル式の略。</p>
<p>キャリブレーション</p>	<p>機器の偏りを計測したり、正しい値になるよう調整したりすること。</p>
<p>スパイラル</p>	<p>コースターのコースの名称で、車両がひねりながら走行するコース コークスクリュー（ワインのコルク抜き）とも言う</p>