

## 検査・点検ロボット運用モデル検討会

### 福島 RTF における最先端ドローンの性能検証

#### 1. 日時、場所

日時：2022年3月18日

場所：福島ロボットテストフィールド（以下：福島 RTF）

#### 2. 背景

船舶の検査・点検業務におけるロボティクス活用に向けた業界横断の取り組みとして発足した「検査・点検ロボット運用モデル検討会」（以下：検討会）では、船内でのドローンの活用方法として、C/H、WBT、E/R 等での検査・点検が挙げられた。非 GNSS 下でのドローン活用は操縦の難易度が高く、また、船舶で活用されている事例も少ないため、まずは技術的にどこまで対応できるかを検証・整理する必要がある。そこで、下記5項目に対して、事前検証を行った上で、実現可能性やビジネスメリットについて検討を進めることとした。

- ① 操縦性：マニュアル操縦の難易度
- ② カメラ撮影：狭隘部、暗所が適切な品質で撮影できるか？
- ③ 3Dデータの取得：3D スキャナの代替が務まるか？
- ④ 目視以外の機能付与：錆取り・泥落とし、板厚計測、非破壊計測などの作業ができるか？
- ⑤ データの活用方法：どのように撮影したデータを活用していくか？

当初は、実船を用いた検証を予定していたが、新型コロナウイルスの影響で断念。福島 RTF の施設（試験用トンネル及び屋内試験場）を船内（C/H、WBT 等）に見立てた検証を実施した。本検証では、上記①～③を対象とする。

#### 3. 試験用トンネルにおける実証実験

##### 3.1. 使用するドローン

本実証実験で用いるドローン2機種（ELIOS2、IBIS）の概要を表1に記載する。両機とも屋内空間での利用を前提としたドローンである。

ELIOS2は屋内空間においてエラーの原因となる、GPS 受信機や磁気センサ等を搭載していない。一方で、屋内でも利用できる赤外線カメラ、赤外線レーザ等のセンシング技術を機体の22箇所に搭載しており、機体の飛行制御を行っている。1万ルーメンの照明を搭載しており、暗所でも使われている。機体は球形のプロペラガードに囲まれており、接触による損傷を防ぐことができる。カメラは角度を変更できるチルト機能を有しており、正面方向だけではなく、上下方向の撮影も可能。チルト機能でカメラの角度を変えた時、ある程度の角度までは、プロペラガードが映らないような構造になっている。

IBISについては、GPS 受信機や、磁気センサを含めた飛行制御のためのセンシング技術が搭載されており、オペレータの操縦により飛行を制御する。機体の大きさは業界最小クラスのサイズ、重量であ

り、屋根裏のような狭小空間にも対応可能である。また、機体の四方にはプロペラガードが付けられており、壁にぶつかりながら、目的の場所まで飛ばすような運用が可能である。さらに、粉塵が侵入しないようにモーターが密閉されており、高い防塵性能を有しているため、劣悪な空間でも利用可能となっている。

表 1 ドローン概要

機体名称	ELIOS2	IBIS
		
製造者名	Flyability (スイス)	Liberaware (日本)
寸法	直径 400mm (プロペラガード込み)	191×179×54mm (プロペラガード込み)
重量 (最大離陸重量)	1450g (バッテリー込み)	185g (バッテリー込み)
カメラの解像度	4K 3840×2160	Full HD 1920×1080
照明	1 万ルーメン (車のヘッドライトと同程度の強さ)	LED 照明を搭載しているものの、詳細は不明
飛行時間	約 10 分	約 8 分
実証実験で操縦するフライトベンダー	ブルーイノベーション株式会社	株式会社 Liberaware

### 3.2. 実験環境

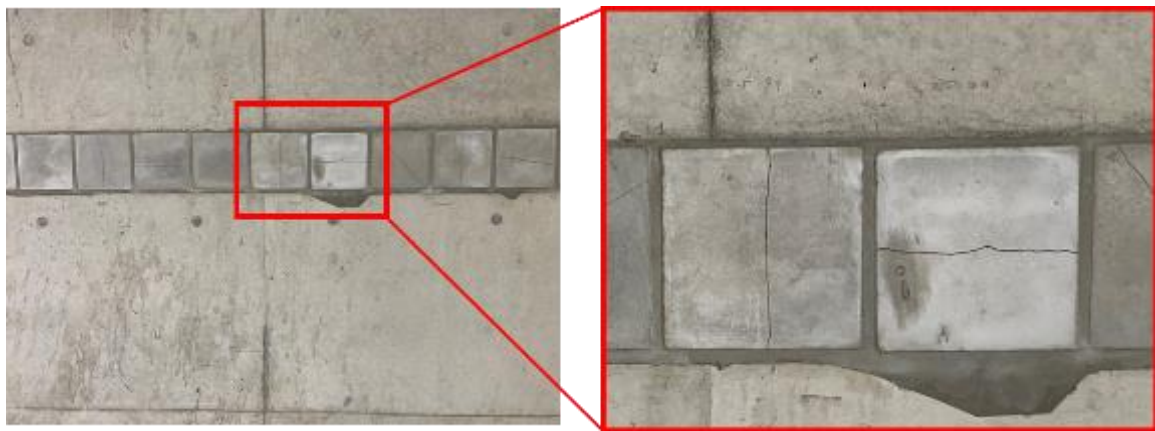
本実証実験で利用した福島 RTF 内試験用トンネルの概観を図 1 に示す。トンネルのシャッターを閉じ、照明を消すことで、GPS が届かない暗所環境を再現することができる。トンネル内壁には、図 2 のようなクラックを模擬したテストピースが、図 1 中の矢印 5 箇所に埋め込まれており、クラックの幅は最小 0.1mm～最大 1.0mm まで、異なるものが設置されている。本実証実験では、これらのテストピースを船体鋼板の欠陥に見立て、ドローンによる検査・点検を模擬したフライトを行い、動画を撮影した。



図1 福島 RTF 内試験用トンネル概観



(a) 全体像



(b) 一部拡大

図2 クラックを模擬したテストピース

### 3.3. 検証内容

本実証実験では以下の検証を実施した。それぞれ内容を説明する。

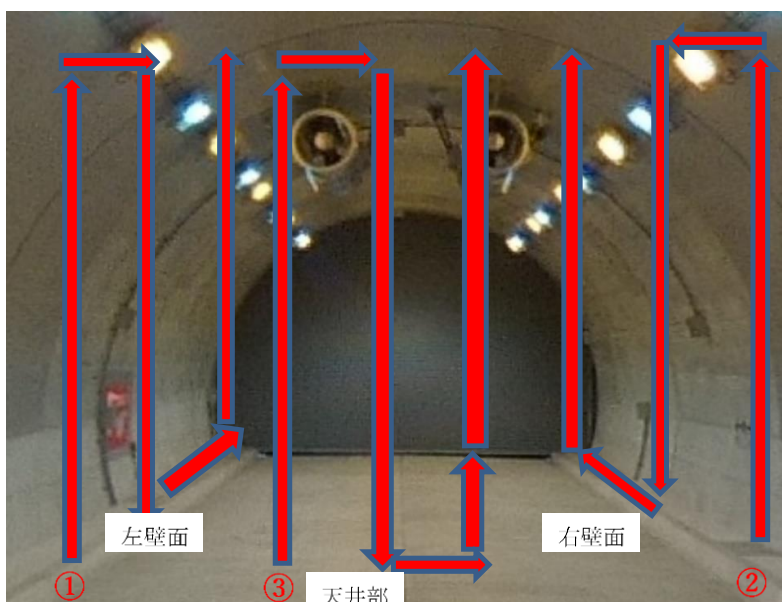
#### 実証実験の内容

- ① 暗所とした試験用トンネル内で最新型のドローンが安定して飛行できるかを確認
- ② ドローンに搭載されているカメラでトンネル内全体と検査対象箇所（クラックを模擬したテストピース）を撮影

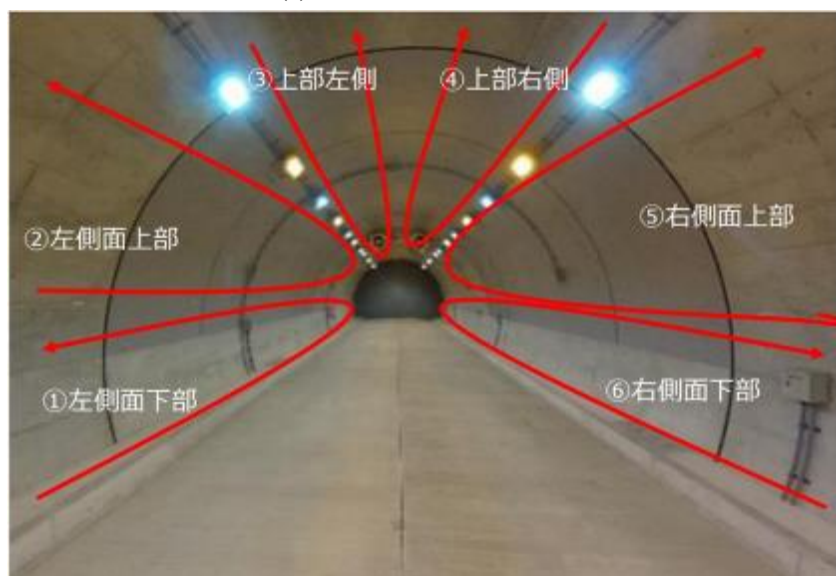
- ③ ドローンで撮影した画像（トンネル内全体）をオルソ画像や3Dモデルに加工
- ④ ドローンで撮影した画像（クラックの入ったテストピース）に対しAIによる画像解析を実施

船内環境を模した暗所・閉所空間である試験用トンネル内にて、2機種のドローンをそれぞれ飛行させ、トンネル内全体を撮影した。その際のドローンの飛行ルートを図3に示す。この撮影データより3Dモデル・オルソ画像を作成した。（3.4.1.2、3.4.1.3で詳述。）

これに加え、クラック入りのテストピース埋め込み部分（図1矢印部分）の近接撮影を行った。なお、各飛行ルートにおける離隔距離（ドローンと壁面の距離）については、表2に示す通り設定している。



(a) ELIOS2 飛行ルート



(b) IBIS 飛行ルート

図3 飛行ルート

表 2 ドローン飛行時の離隔距離

ドローン機種	離隔距離 ①		離隔距離 ②	
	※3D モデル・オルソ画像作成用		※クラック (テストピース) 確認用	
	距離 (目安)	飛行ルート	距離 (目安)	飛行ルート
ELIOS2	2m	図. 4(a)	1m	テストピース埋め込み部分
IBIS	1m~1.5m	図. 4(b)	0.5m~1m	テストピース埋め込み部分

また、2 機種のだローンで撮影した画像に対し、クラック判定 AI によるクラック箇所の抽出を試みた。なお、本検証では、一般的な建築物や屋外施設で生じたクラックの画像を学習した AI (日立システムズ製のクラック判定 AI) を用いている。

### 3.4. 結果および考察

#### 3.4.1. 試験用トンネルにおけるドローン撮影

##### 3.4.1.1. ドローン撮影の安全性と撮影品質の検証

ELIOS2、IBIS を用いたフライトの様子をそれぞれ図 4、図 5 に示す。トンネル内は暗所となるため、ドローンに搭載された LED 照明で周囲を照らしながらフライトを行った。両ドローンともに GPS 受信機・磁気センサを搭載していないにもかかわらず、安定した飛行ができており、クラックに接近して撮影する離隔距離 (表 2 ②) においても、特に危険を感じる場面もなく、フライトを終えることができた。そのため、今回用いたドローン 2 機種については、トレーニングを受けた適切なオペレータが操縦する場合、船内においても安定して飛行させることが期待できる。

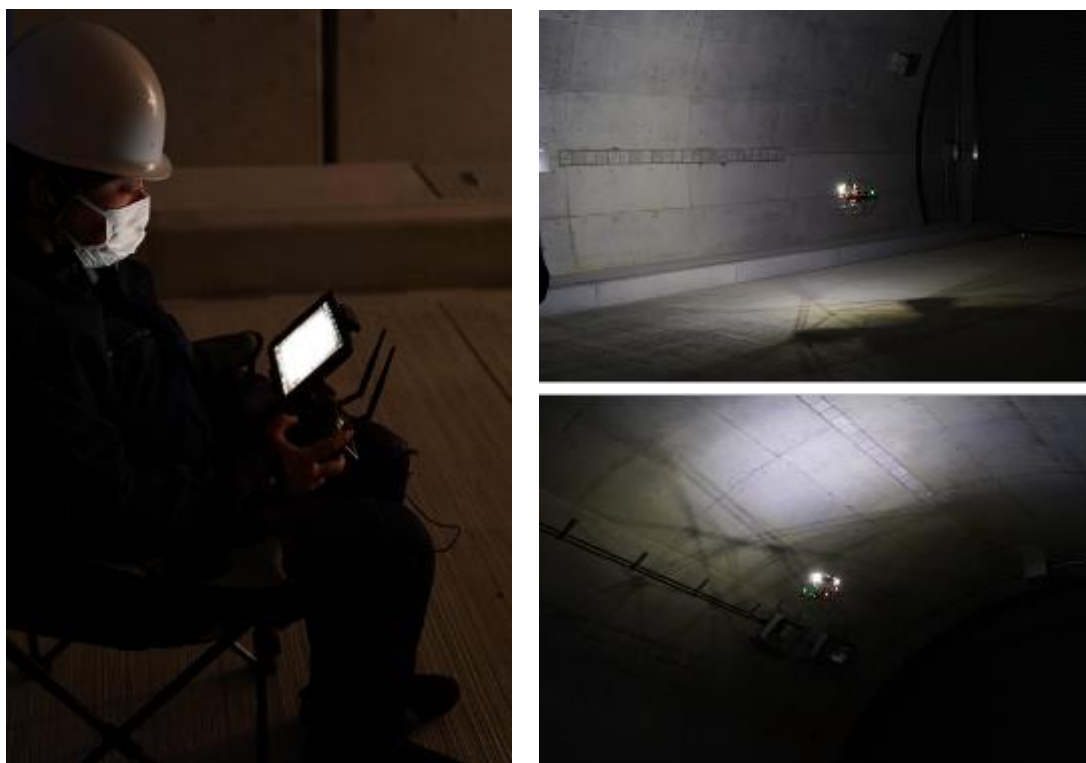


図 4 ELIOS2 のフライトの様子 (左: オペレータ、右上: トンネル側面、右下: 天井付近)



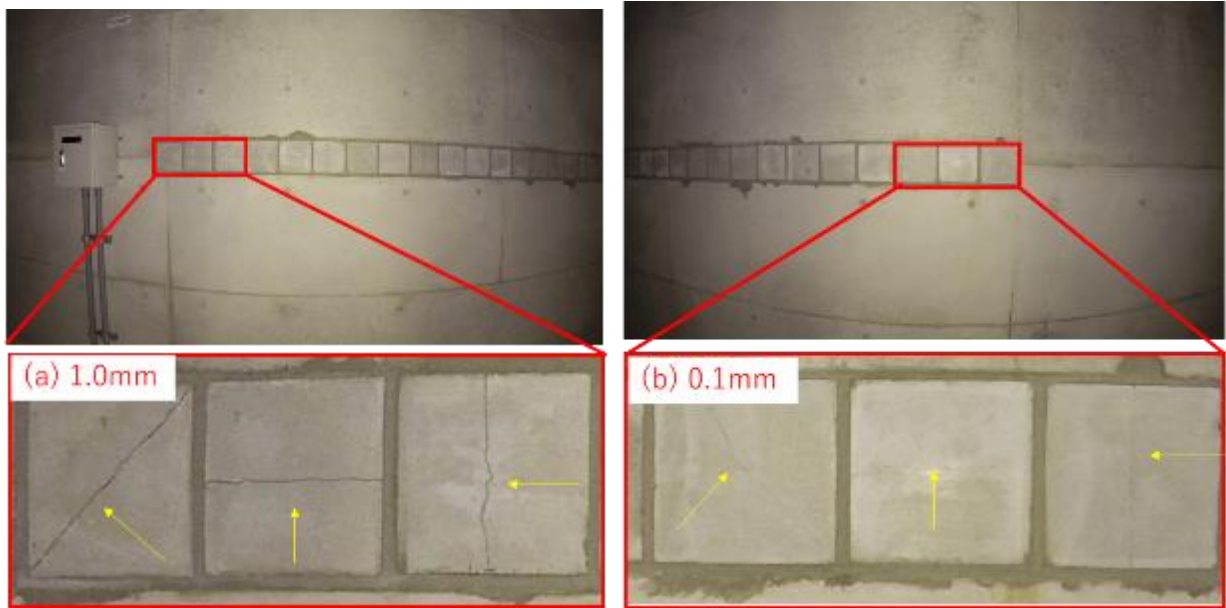
図5 IBIS のフライトの様子（左：オペレータ、右上：トンネル側面、右下：側面上部）

ライトおよびカメラの性能に関して、ELIOS2、IBIS を用いて、表 2 の離隔距離②（ELIOS2：1m、IBIS：0.5～1m）の条件でトンネル側面のテストピースを撮影した画像を図 6、図 7 に示す。また、トンネル天井のクラックを撮影した画像を図 8、図 9 に示す。なお、これらの画像はドローンで撮影した動画から抽出したものとなっている。また、離隔距離は目安であり、常に壁面とドローン間の距離が一定であったわけではない。

図 6、図 7 から、幅 1mm のクラックについては、両方のドローンで撮影した画像から確認することができる。一方で、最小幅である 0.1mm のクラックについては、オリジナルの画像からは発見しにくい。そのため、クラックを判別するために、画像の拡大や他画像との比較等が必要になるケースが見られた。なお、0.1mm という数値は今回の撮影画像中の 1 ピクセルの大きさに近い値となっていたことから、より解像度の高いカメラを用いることで、判別しやすくなる可能性はあるかもしれない。

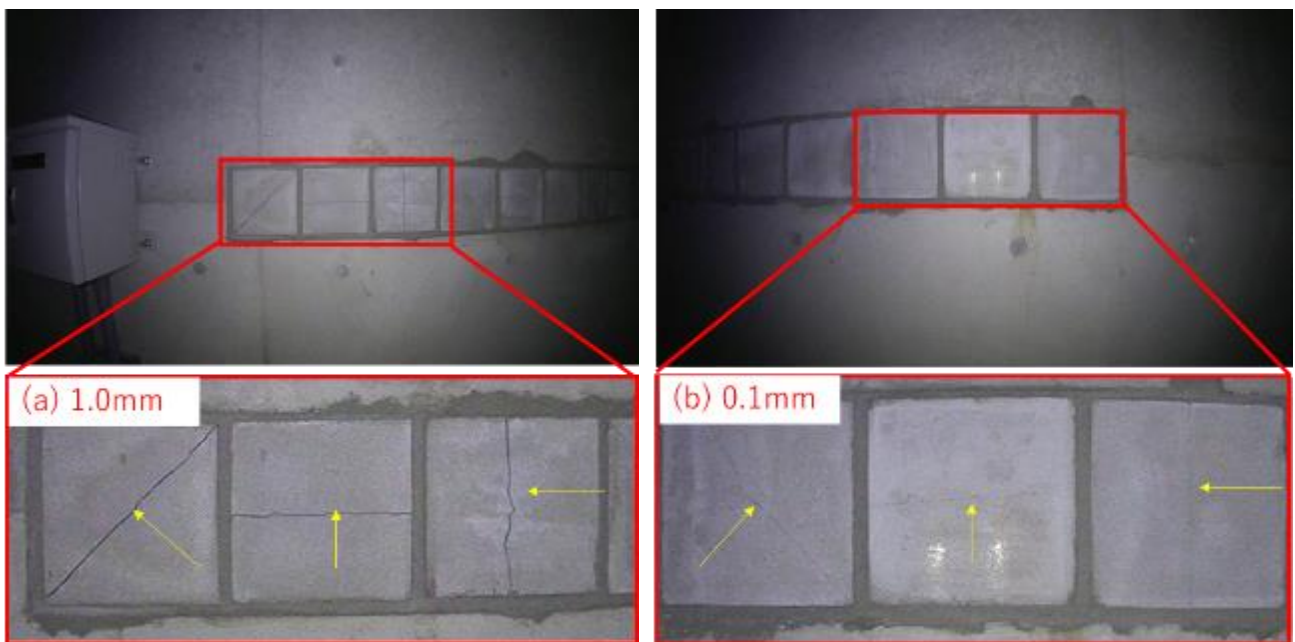
天井のクラックについて、図 8 に示す ELIOS2 で撮影した画像は、チルト機能によりカメラの角度を調整し、クラックを正面に捉えている。そのため、トンネル側面を撮影した場合と同様の画像が得られている。一方で、IBIS はチルト機能を有していないため、図 9 に示すように天井を斜め下から見上げる形での撮影となり、対象物との距離が離れ、壁面が暗くなる。そのため、得られる画像の質が低下している。

本実証実験では、本検証項目で得られた画像をもとに、後の項目で各種処理を施す。そのため、この段階で得られる画像の質が重要であり、対象物の大きさや種類、ドローンと対象物の距離、カメラの性能（画角、画素数等）、照明の強さ等を総合して検討する必要がある。また、動画から抽出した画像は静止画と比較して一般的に画質が低下する、という点にも配慮が必要である。



(a) クラック幅 1mm (b) クラック幅 0.1mm

図6 トンネル側面の画像サンプル (ELIOS2)



(a) クラック幅 1mm (b) クラック幅 0.1mm

図7 トンネル側面の画像サンプル (IBIS)

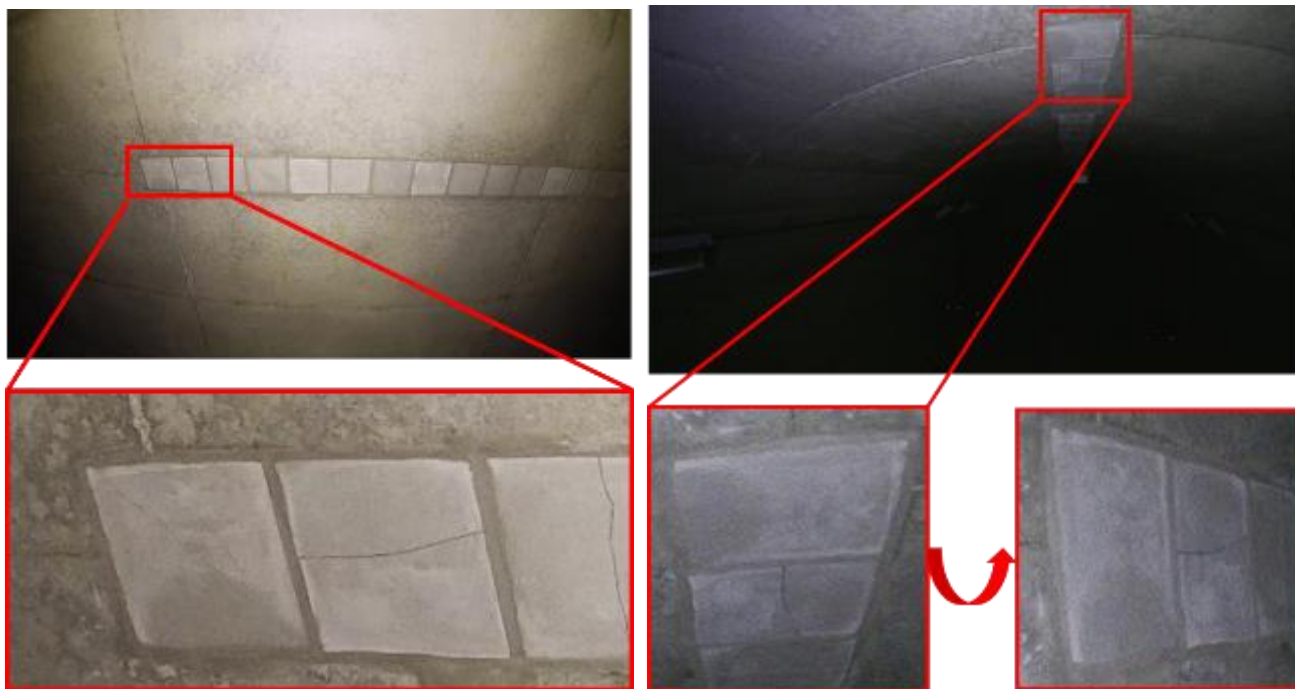


図8 トンネル天井の画像サンプル (ELIOS2)

図9 トンネル天井の画像サンプル (IBIS)

#### 3.4.1.2. 3Dモデル作成

ELIOS2 および IBIS の各ドローンで撮影したトンネル内部画像をもとに作成した 3D モデルの外観をそれぞれ図 10、図 11 に示す。なお、3D モデルは、表 3 記載の離隔距離① (ELIOS2 : 2m、IBIS : 1~1.5m) の条件で撮影した画像と、離隔距離② (ELIOS2 : 1m、IBIS : 0.5~1m) で撮影したクラック確認用の画像との両方を用いて作成されている。

図 10 から、ELIOS2 の 3D モデルについては、トンネルの内部形状をおおまかに再現できていることがわかる。一方で、IBIS の 3D モデルについては、図 11 から、離隔距離①および②の両方で撮影した範囲はモデル化できているものの、離隔距離①のみで撮影した範囲 (テストピース以外の部分) については、3D モデルの形状が崩れ、凸凹になっている様子が確認できる。これは、離隔距離①では IBIS の照明の明るさが十分ではなく、3D モデル化の際に精度が低下してしまったためだと考えられる。

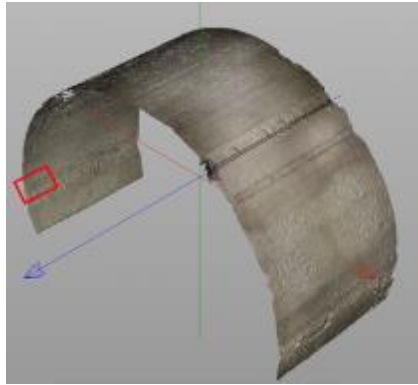
#### 3.4.1.3. オルソ画像作成

図 10(b)および図 11(b)に示した、トンネル壁面を対象として作成したオルソ画像について、ELIOS2 のものを図 12 に、IBIS のものを図 13 に示す。なお、3D モデルの場合と同様に離隔距離①、②両方の画像を用いてオルソ画像を作成している。図 12、図 13 を確認すると、1枚1枚の画像と比較して全体的にぼやけたような画像になっているものの、クラックは確認することができる。

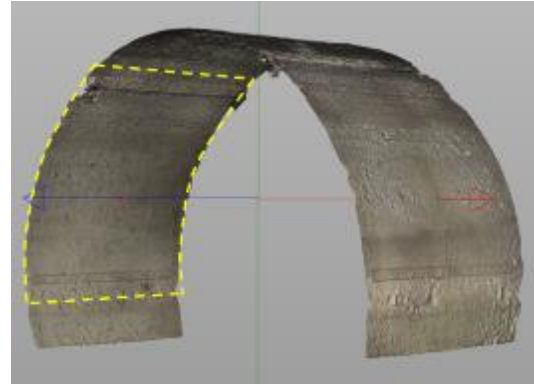
次に、トンネル天井部分 (図 10 および図 11(c)) を対象に作成したオルソ画像を、それぞれ図 14、図 15 に示す。ELIOS2 で撮影した画像を基にした図 14 については、トンネル側面と同程度の精度で天井部分のオルソ画像を作成できていた。一方で、IBIS のものである図 15 については、IBIS で天井部分を撮影した画像の質が低かったことが影響し、オルソ画像は作成できているものの、画質が低く、クラックの判別は困難である。



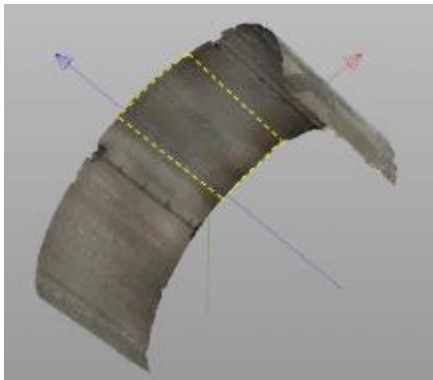
オルソ画像については、3D モデルのように立体的に状況を捉えることはできないものの、広い範囲を平面として捉え、全体像を把握することができる。そのため、例えば塗装状態の把握等で活用できる可能性がある。一方で、画質については、上記で述べた通り元の画像と比べて低下しているため、詳細確認は別途元画像を参照する、等の対応が必要だと思われる。



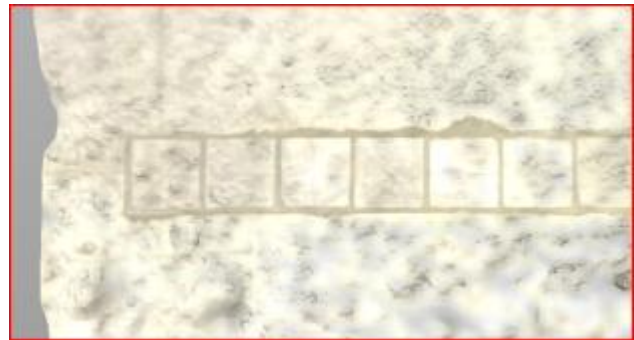
(a) 上方向



(b) 黄色点線：オルソ画像対応部分

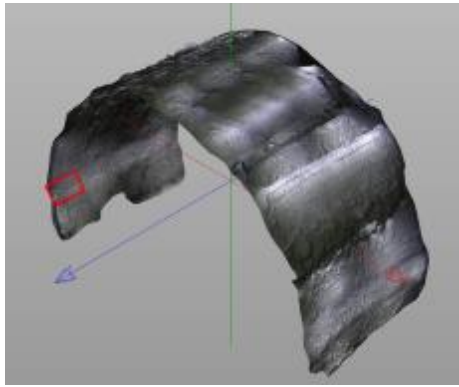


(c) 下方向（黄色点線：天井部分オルソ化範囲）

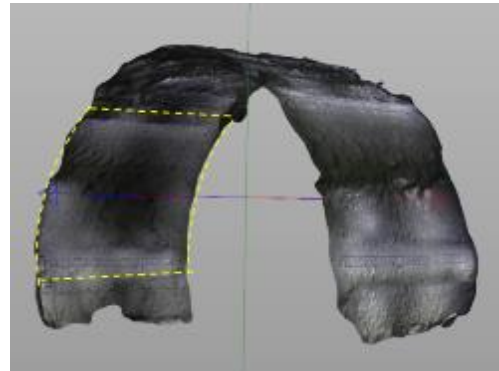


(d) クラック ((a)赤枠部分に相当)

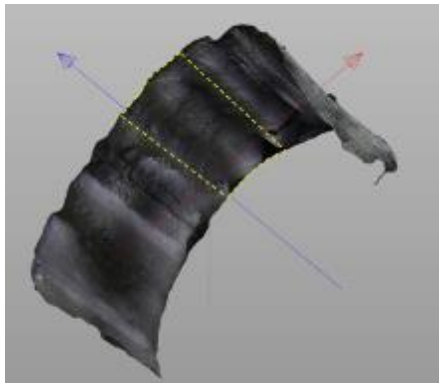
図 10 3D モデル (ELIOS2)



(a) 上方向



(b) 黄色点線：オルソ画像対応部分



(c) 下方向（黄色点線：天井部分オルソ化範囲）



(d) クラック ((a)赤枠部分に相当)

図11 3Dモデル (IBIS)

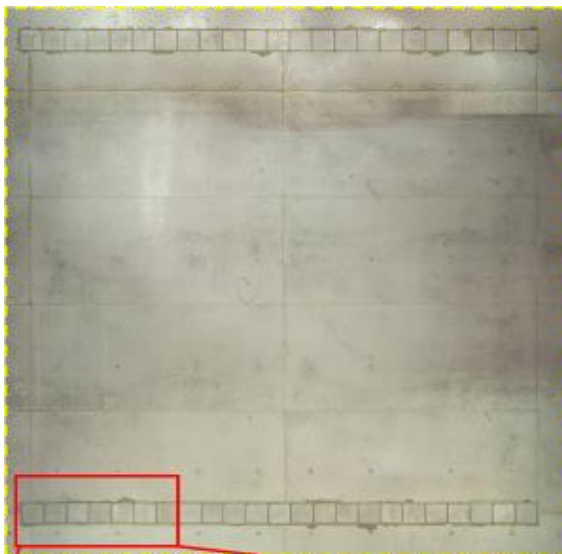


図12 トンネル側面のオルソ画像 (ELIOS2)

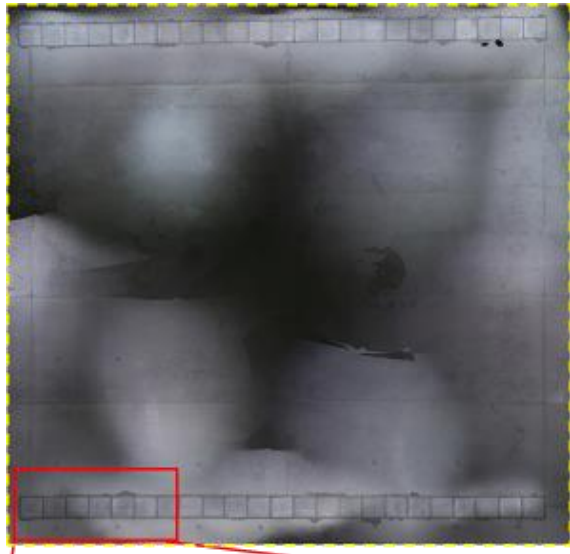


図13 トンネル側面のオルソ画像 (IBIS)

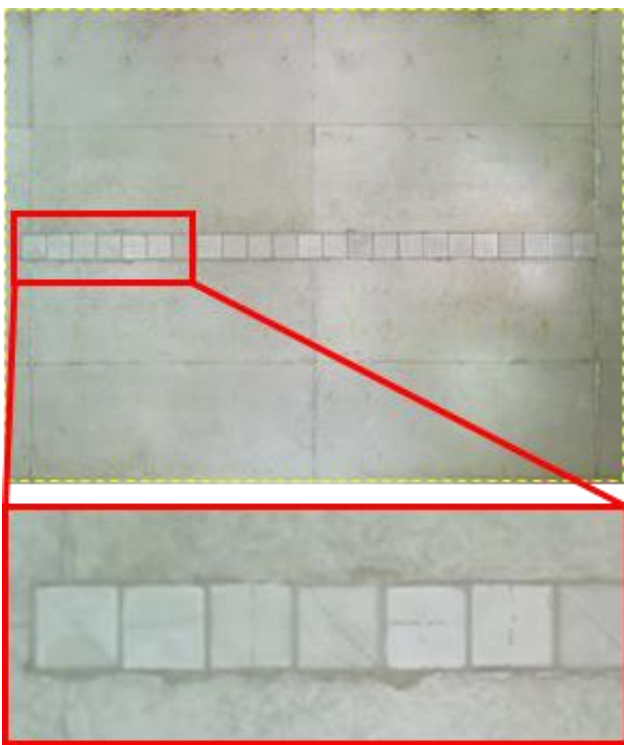


図 14 トンネル天井のオルソ画像 (ELIOS2)

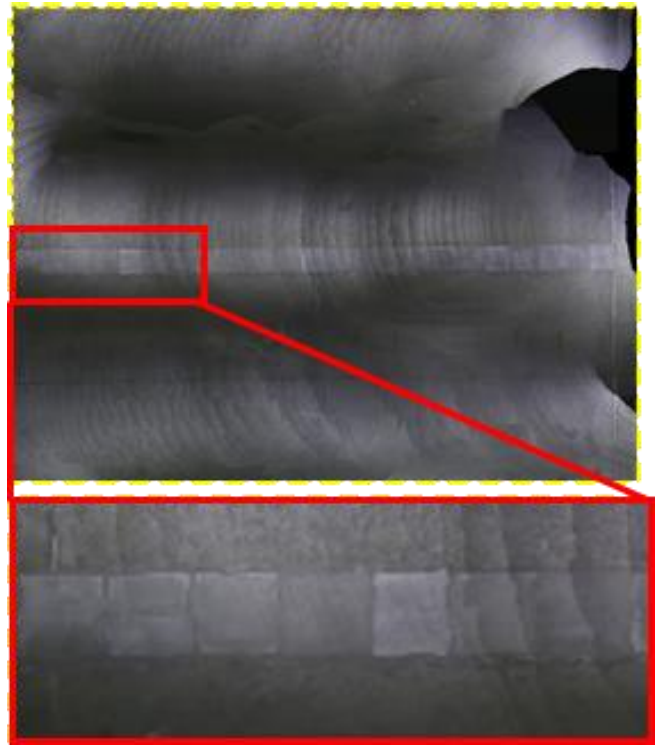


図 15 トンネル天井のオルソ画像 (IBIS)

### 3.4.2. AIによる画像解析

検査・点検効率化の検討材料として、日立システムズ製のクラック判定AIを用いて、画像からクラック箇所の判定を行った。クラック判定AIは、主に図16に示すような、一般的な建築物や屋外施設で生じたクラックの画像を学習したAIであり、ピクセル単位でクラックを判定することができる。AI判定結果については、確信度に閾値を設けて可視化することが可能となっている。



図 16 AIが学習したクラック画像のイメージ

トンネル側面、クラック幅 0.1mm 近辺を撮影した画像に対するクラック判定結果について、ELIOS2 のものを図 17、IBIS のものを図 18 に示す。AI の判定結果には、それがどの程度確実かを表す指標として確信度 (0~100%) が与えられており、図 18 (b)(c)に示すように、判定結果を可視化する際に閾値として利用することができる。

判定結果に関して、実際にクラックがある部分については、クラックと判定された赤色の部分がクラックに沿ってつながり、線のようにになっている。一方で、誤判定となるクラックが存在しない部分については、図 17(c)に顕著に現れている様に、判定結果がまだら模様となっている。また、壁面の溝部分については、クラックがある部分と同様に線のような判定結果となっている。

図 17 および図 18 から、ELIOS2 および IBIS で撮影した画像の両方で、一部見逃しはあるものの、元画像では判別が困難なクラックであっても、AI は判別することができていると考えられる。



(a) 元画像



(b) 確信度 80



(c) 確信度 40

図 17 AI 判定結果 (ELIOS2)

トンネル側面、クラック幅 0.1mm 近辺



(a) 元画像



(b) 確信度 80



(c) 確信度 40

図 18 AI 判定結果 (IBIS)

トンネル側面、クラック幅 0.1mm 近辺

次に、ELIOS2 および IBIS で撮影した画像から作成したトンネル側面のオルソ画像に対して、クラック判定を行った結果を図 19 に示す。オルソ画像では、一部のクラックは判定結果として表れているものの、見逃しも多くみられる。



(a) ELIOS2、オルソ画像 (元)



(c) IBIS、オルソ画像 (元)



(b) ELIOS2、AI 判定結果、確信度 40%



(d) IBIS、AI 判定結果、確信度 60%

図 19 AI 判定結果：トンネル側面のオルソ画像

## 4. 屋内試験場における操縦性能の追加検証

### 4.1. 高所かつ狭所の撮影

試験用トンネルは周りに障害物がなく比較的簡単な飛行条件であった。そのため、船内の高所や狭所で飛ばす際のイメージ作りに貢献することを狙い、障害物が多い屋内試験場の天井クレーンや梁を撮影対象とした検証を行った。(図 20 参照)

3章の実証実験と同じドローン(①ELIOS2、②IBIS)を使用。両ドローン共に、高所(約10m)かつ狭所空間において、安定飛行・撮影ができることが確認できた。

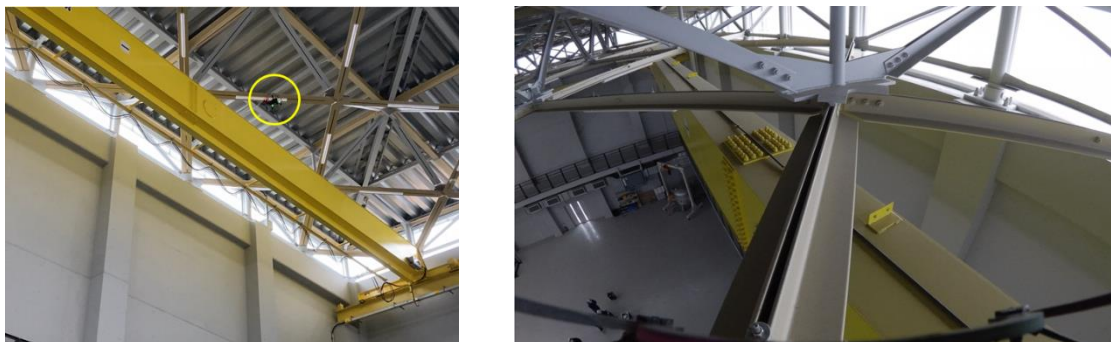


図 20 屋内試験場の天井クレーンや梁を撮影 (ELIOS)

### 4.2. 操縦体験会

実証実験ではライセンスを所持しているオペレータに操縦してもらったが、海事業界では、船員や造船所もしくは検査事業者の社員等が操縦することも想定される。そこで本実証実験で使用したドローン(①ELIOS2、②IBIS)の使用感について実際に体感することを目的に、屋内試験場において、フライトベンダーの監督の下、ドローンの基本的な操作方法の講習、およびドローンの操縦体験を実施した。

(図 21 参照)

各ドローンを操縦した際の所感は下記の通り。

#### ① ELIOS2

- ✓ 赤外線カメラ等のセンサが搭載されており、屋内でも自己位置推定技術による飛行姿勢制御(ホバリング)が可能であり、初心者でも操縦が容易なように感じた。
- ✓ 操縦コントローラーからカメラの操作も行えるが、ホバリングしながら操作できるため、初見でも容易に対応することができた。

#### ② IBIS

- ✓ GPS、磁気センサに代わる制御のためのセンサは搭載されていないため、姿勢制御にはオペレータによる細かい制御が必要となる。
- ✓ 初見では、操作が難しく、安全のためフライトベンダーに操作が引き継がれる場面があった。



図 21 操縦体験の様子 (IBIS)

以上