

阪神港におけるドローンの利活用実証実験

井 上 裕 司・木 俣 順・永 峰 義 寛・篠 原 正 治・白 神 英 文

ドローンは点検や物流など様々な分野での活用が期待されており、すでに海外の港湾では施設の管理や監視に導入されている。本稿では、阪神国際港湾㈱が管理・運営する阪神港を対象に、ドローンの利活用場面を抽出して有効性を実証するための実験を計画し、大阪港のコンテナターミナルにおいて自動飛行するドローンからの撮影画像から災害後の異常が確認できるかどうかの実証実験を実施した。その結果、ドローンによる撮影画像は異常確認に十分な視認性を有しており、要する時間も徒歩による確認の1/20程度に低減できることが判明し、港湾施設における災害後の異常確認にドローンが有効であることを確認した。

キーワード：ドローン、無人航空機、港湾施設、実験計画、実証実験、有効性検証

1. はじめに

ドローン（無人航空機、UAV）は「空の産業革命」とも呼ばれ、点検や物流など様々な分野での活用が期待されており、海外の港湾では施設の日常的な管理や監視にも導入されている（写真—1）。

本稿では、阪神国際港湾㈱が管理・運営する阪神港を対象に、ドローンの利活用場面を抽出して有効性を実証するための実験を計画し、ドローンを自動飛行させる実証実験を通じて災害後の異常確認に対する有効性を検証した内容について報告する。

2. 阪神港におけるドローンの飛行規制

ドローンは航空法により飛行ルールが定められており、リスクに応じて飛行形態が3つのカテゴリ（Ⅰ、

Ⅱ、Ⅲ）に分類されている（表—1）。この表における「特定飛行」とは、規制の対象となる空域又は方法による飛行であり、航空法上の飛行許可・承認手続きがカテゴリⅠでは不要、カテゴリⅢでは必要となる。カテゴリⅡは、総重量25kg未満のドローンを、航空機の航行の安全に影響を及ぼすおそれのある空域（空港等の周辺や150m以上の上空など）や落下した場合に地上の人などに危害を及ぼすおそれが高い空域（DID地区など）以外で飛行させる場合であって、第二種機体認証以上の機体を有し、かつ二等操縦者技能証明以上の技能を有する操縦者が操縦する場合（カテゴリⅡB飛行）では飛行許可・承認手続きが不要となり、これ以外の飛行（カテゴリⅡA飛行）では必要となる。

表—1 ドローン飛行形態の分類

カテゴリ	飛行形態	許可・承認申請
Ⅲ	特定飛行のうち、無人航空機の飛行経路下において立入管理措置を講じないで行う飛行。（＝第三者の上空で特定飛行を行う）	必要
Ⅱ	特定飛行のうち、無人航空機の飛行経路下において立入管理措置を講じたうえで行う飛行。（＝第三者の上空を飛行しない）	第二種機体認証以上及び二等操縦者技能証明以上。 上記を有しない：必要 上記を有する：不要
Ⅰ	特定飛行に該当しない飛行。航空法上の飛行許可・承認手続きは不要。	不要



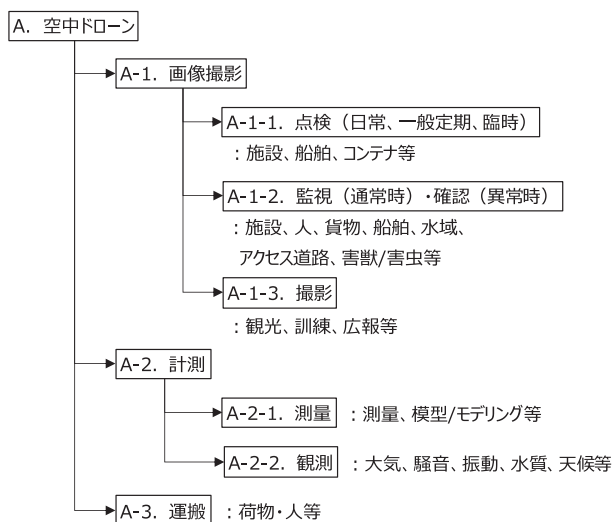
写真—1 ベルギーアントワープ港における空中ドローンによる日常管理・監視事例¹⁾

阪神港を構成する神戸港・大阪港はいずれも人口集中地区（DID）であり、この空域におけるドローンの飛行は「特定飛行」となる。一方、コンテナターミナルとライナーバースは海上人命安全条約（SOLAS 条約）と国際船舶・港湾保全法に基づいて一般の立ち入りが制限されているため、これらの空域におけるドローン飛行はカテゴリーⅡに分類される。これより、高さ 150 m 未満の空域に神戸空港水平表面が含まれる神戸港の一部を除くと、阪神港のコンテナターミナルとライナーバースの対地高度 150 m 未満の空域に、総重量 25 kg 未満で第二種機体認証以上のドローンを、二等操縦者技能証明以上の操縦者が操縦する場合は、航空法上の飛行許可・承認手続きが不要となる。

3. 実証実験計画の立案

ブレインストーミングによって阪神港におけるドローンの利活用場面を幅広く抽出して分類し、分類したドローンの利活用場面を①実現性、②有効性、③実証実験の必要性の観点からを 3 段階で評価し、実証実験計画を立案する阪神港のドローン利活用場面を選定した。

抽出・分類したドローンの利活用場面を図—1、実



図—1 阪神港におけるドローン利活用場面の分類

表—2 実証実験計画を立案するドローンの利活用場面

空中ドローンの利活用	水中ドローンの利活用
1) 日常点検	1) 詳細定期点検診断
2) 一般定期点検診断	2) 水中の異常確認
3) 異常確認	3) 海底の地形計測
4) アクセス道路監視	
5) 変位モニタリング	
6) 3D モデル作成	

証実験計画を立案した水中ドローン（無人潜航機、ROV）を含むドローンの利活用場面を表—2 に示す。

実証実験計画では、ドローン利活用場面ごとに、①実験目的、②実験手順、③実験方法、④関係機関協議、⑤データの取得と整理、⑥評価・検証、⑦実施体制、⑧実施工程、⑨実験費用、⑩実験を確実に実施するためのチェックリストを立案した。

4. ドローンの自動飛行による実証実験

(1) 実験内容

港湾施設に災害が発生した時、飛行経路（フライトプラン）を予め設定したドローンを自動飛行させ、飛散物や飛来物の有無を上空から確認できれば効率的である。実証実験計画を立案したドローンの利活用場面のうち、災害後の異常確認を対象に、大阪港のコンテナターミナル上空にドローンを自動飛行させる実証実験を実施し、その有効性を検証した（写真—2）。

本稿におけるドローン飛行方法の分類を表—3 に示し、実証実験における飛行方法、高度・撮影ケースを表—4 に示す。

ドローンは飛行高度によって撮影範囲が異なるため、実証実験では対地高度 40 m、60 m、80 m、100 m、120 m にドローンを時速 7.2 m にて飛行させて動画と静止画を撮影し、災害後の異常確認に適した飛行高度を検証した。なお、静止画撮影では隣接画像



写真—2 実証実験の実施状況

表—3 本稿におけるドローン飛行方法の分類

飛行方法	内容
自動飛行	ドローンが予め設定したプログラムにしたがって自律的に飛行する飛行。
目視飛行	操縦者がドローンを直接目視しながら操縦する飛行。
目視外飛行	操縦者がドローンを直接目視せず、ドローンからの撮影画像を見ながら操縦する飛行。

表—4 実験ケース

飛行方法	高度・撮影ケース
自動飛行	[飛行高度] 40 m、60 m、80 m、100 m、120 m [撮影画像] 動画、静止画



図ー2 実験場所（大阪港 C1～C4 コンテナターミナル）

10% 程度ラップするように、撮影間隔を 10 秒とした。

実証実験は、大阪港の C1～C4 コンテナターミナルにて実施した（図ー2）。実証実験では、C2 管理棟の屋上から DJI 社製 Phantom4 Pro を離陸させ、4K カメラにて敷地全体（約 $0.3\text{ km} \times 1.4\text{ km} = 0.42\text{ km}^2$ ）の動画と静止画を撮影した。

（2）実験結果

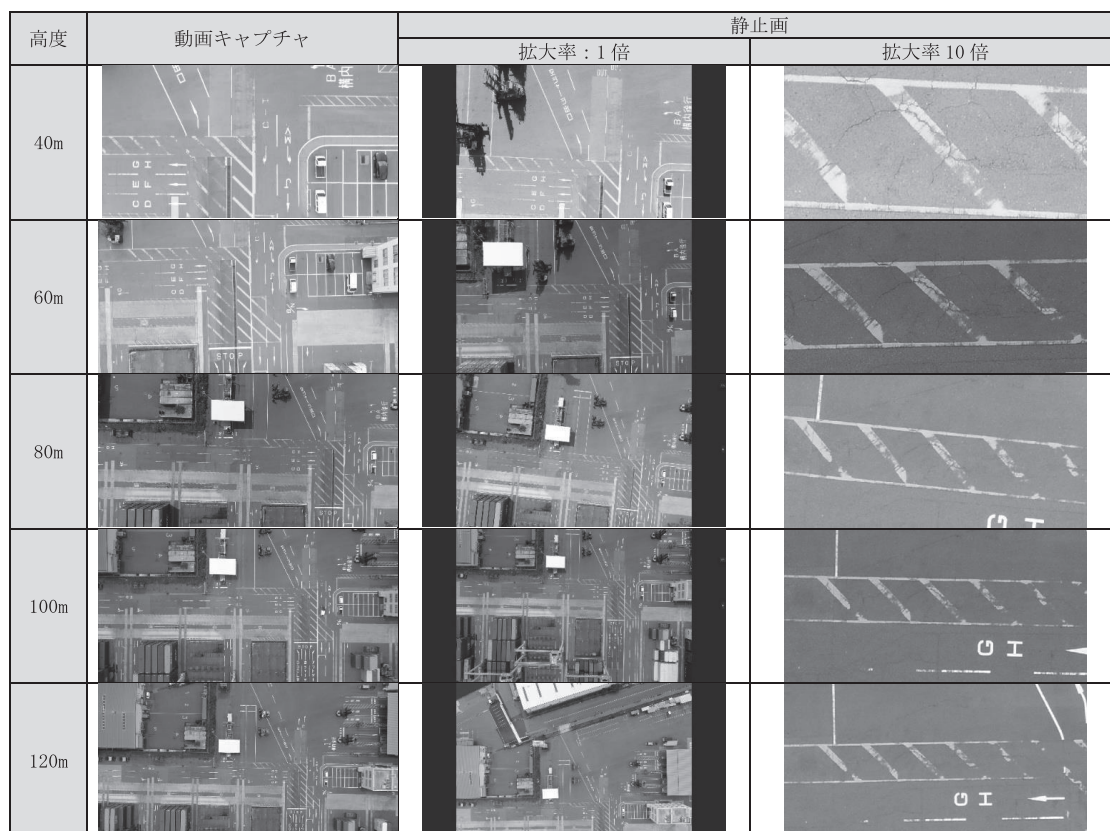
実証実験に用いたドローンに搭載されているカメラの視野角は 84° であり、飛行高度が高いほど広範囲の画像を撮影することができる。自動飛行の実証実験にて、撮影対象とした大阪港 C1～C4 コンテナターミナル全体の画像撮影に要した飛行距離、飛行時間、バッテリー残量を表ー5 に示す。これより飛行高度 60 m

以上であれば、バッテリー残量を 50% 程度、飛行時間を 15 分以内に抑制しつつ敷地全体を撮影できることが判明した。フル充電のバッテリーを用いれば、高度 60 m 以上で自動飛行させれば、余裕をもって帰還できることが確認できた。

飛行高度別に撮影した動画のキャプチャ画像と静止画像を図ー3 に示す。飛行高度が低いほど細部の視認性は向上する。一方、飛行高度が高いと撮影範囲が広くなり異常を効率的に確認することができる。また、動画では撮影画像を連続的に視認できるものの、Windows の標準ソフトウェア（メディアプレーヤー）では画像を拡大することができない。一方、静止画では画像を 1 枚ずつしか視認できないものの、Windows の標準ソフトウェアにて画像を拡大して視認することができる。

表ー5 自動飛行による飛行距離・飛行時間・バッテリー残

高度 (m)	飛行速度 (s/m)	飛行距離 (m)	飛行時間 (min)	バッテリー残 (%)
40 m	7.2	11,080	26 : 10	22
60 m	7.2	5,600	12 : 26	47
80 m	7.2	4,500	10 : 59	53
100 m	7.2	3,120	7 : 45	56
120 m	7.2	2,910	6 : 58	63

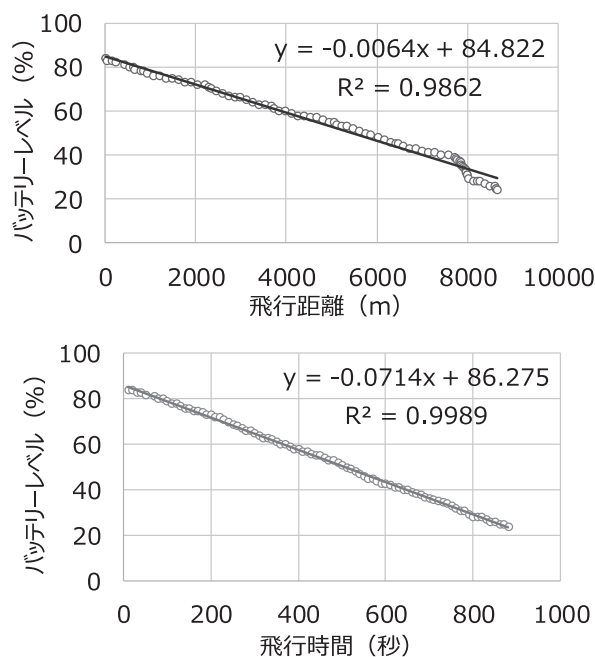


図ー3 異なる飛行高度からドローンの自動飛行にて撮影した動画のキャプチャ画像と静止画像

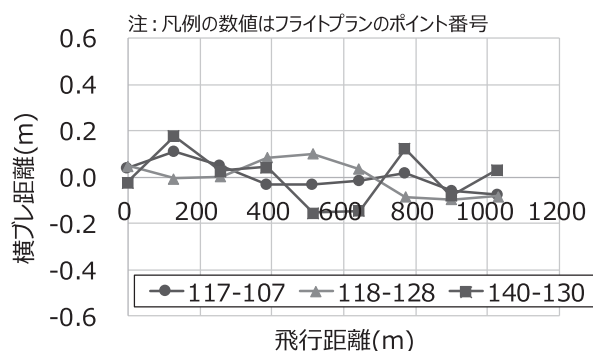
飛行高度別の撮影画像を比較した結果、高度 100 m の撮影動画でも港湾施設の供用に支障するような異常が視認できること、動画と静止画を撮影すれば静止画を拡大させることができることから、災害後の異常確認にドローンを用いる場合は、高度 100 m にてドローンを自動飛行させ、動画と静止画を 1 回ずつ撮影することにした。

実証実験で取得したデータを用いて、ドローンの飛行距離と飛行時間のどちらがバッテリーの消耗に影響を与えるのかを確認した。高度 40 m の動画撮影にて記録されたバッテリーレベルに対する飛行距離と飛行時間の相関を図一 4 に示す。これより飛行距離、飛行時間ともにバッテリーの消耗と強い相関があり、やや飛行時間との相関が高いことが分かった。これは、ホバリングなど距離は進まなくても時間が経過すれば電力を消費するためと考えられる。

なお、今回の実証実験には、既存の衛星測位システ



図一 4 バッテリーレベルに対する飛行距離と飛行時間



図一 5 1 km の直進飛行で記録された横ブレ

ム (GNSS) から得られる自己位置に、地上に設けた独自の基準局の補正位置情報を加味することによって自己位置の測位精度を上げる RTK (リアルタイムキネマティック) が搭載されていないドローンを用いたため、飛行記録 (フライトログ) から飛行するドローンの直進性を確認した。自動飛行による 3 回の 1 km 直進飛行にて記録された横ブレを図一 5 に示す。これより 1 km の直進飛行にて発生した横ブレは最大でも 0.2 m 程度であり、RTK が搭載されていないドローンでも災害後の異常確認に対しては大きな影響とならないことを確認した。なお、実証実験を実施した日の天候は晴れ、風速は 3 m/s 未満の微風であった。

5. ドローンの自動飛行による異常確認の効果

現在は地震や台風などの災害が発生すると異常の有無を徒歩による目視により確認している。港湾施設にはコンテナや建屋などがあるため、徒歩による目視では視認できる範囲が限定される。一方、ドローンでは上空から俯瞰的に視認できるため、地上からは視認できないコンテナ上面や建屋屋上も含めて、異常の有無を効率的に確認することができる。また、徒歩では歩行速度 (約 2 ~ 4 km/h) でしか移動できないものの、空中を飛行するドローンは格段に速い速度 (約 20 ~ 30 km/h) で移動できることに加え、徒歩ではコンテナやクレーン等が設置されていない通路しか通れないものの、空中ドローンでは障害物がない限り任意の経路を飛行させることができる。さらに、災害後の状況を記録するためには、徒歩による目視では立ち止まって写真を撮影しなければならないが、ドローンでは動画や静止画にて敷地全体を連続的に自動撮影することができる。

大阪港 C1 ~ C4 コンテナターミナルの敷地全体 (約 $0.3 \text{ km} \times 1.4 \text{ km} = 0.42 \text{ km}^2$) を徒歩とドローンにて異常確認に要する時間を試算したところ、徒歩が 4.7 時間に対してドローンが 0.25 時間 (=15 分) となり、異常の有無確認に要する時間が 1/20 程度に低減できると試算された。

6. 今後の予定

今回の実証実験を通じて、自動飛行するドローンが災害後の異常確認に有効であることが確認された。そのため、今後、大阪港 C1 ~ C4 コンテナターミナルを対象に、ドローンの自動飛行による異常確認を実装するために必要となる設計を進める予定である。

謝 辞

実証実験では、大阪港 C1 ～ C4 コンテナターミナルのターミナルオペレータ各社にご協力いただきました。また、ドローンの飛行では、(株)ジオシステムにご協力いただきました。ここに深く感謝申し上げます。

J C M A

《参考文献》

- 1) Antwerp launches 'live feed' drone network, News09 May 2023by WCN Editorial
- 2) 井上裕司・木俣順・永峰義寛・篠原正治・白神英文, 阪神港における港湾事業の高度化・効率化のためのドローン利活用場面の検討, 第6回 i-Construction の推進に関するシンポジウム, pp9-12, 2024
- 3) 井上裕司・木俣順・永峰義寛・篠原正治・白神英文, ドローンの自動飛行による港湾施設の災害後異常確認実証実験, 第7回 i-Construction の推進に関するシンポジウム, (投稿中)

【筆者紹介】

井上 裕司 (いのうえ ゆうじ)
中央復建コンサルタンツ(株)
メンテナンスイノベーション推進室
室長



木俣 順 (きまた じゅん)
中央復建コンサルタンツ(株)
総合技術本部
技師長



永峰 義寛 (ながみね よしひろ)
中央復建コンサルタンツ(株)
メンテナンスイノベーション推進室
サブリーダー



篠原 正治 (しのはら まさはる)
阪神国際港湾(株)
理事



白神 英文 (しらかみ ひでふみ)
阪神国際港湾(株)
事業開発部 事業開発課
係長

