

巡回点検 I の効率化に向けた固定翼 UAV による滑走路点検システムの開発

パシフィック
コンサルタンツ(株)
稲光 信隆

パシフィック
コンサルタンツ(株)
中井 諒

パシフィック
コンサルタンツ(株)
安田 亨

フジ・インバグ(株)
田辺 誠治

Ultimatrust(株)
福原 一郎

高松空港(株)
上村 佳司

1. はじめに

インフラ整備は、国土の保全と発展、国民の安全・安心な生活の維持向上に多大な貢献をしてきた。近年、インフラの老朽化が急速に進行し、点検、補修、更新などの推進が急務となっている。インフラ老朽化対策においてはインフラの状態把握が重要であり、日常の巡視や定期点検が実施されている。

現状高松空港においては、空港滑走路（2,500m）の巡回点検は夜間（運用時間外）に徒歩で目視により実施している。作業負担が大きく新たな人材確保が難しい状況に加え、従事する担当者の高齢化が進んでおり負担軽減、効率化が課題である。これらを踏まえ AI 等新技术を活用した効率化が求められる。

新技术活用の基本となる考え方は、目的に応じて最適な技術を組合せ効率的に実施し、AI 等の技術も活用しつつインフラの状態を正しく把握し、健全性を適正に診断したうえで、適切な対策の実施につなげていくことである。

インフラ点検においては、次世代社会インフラ用ロボット試行の取組みとして回転翼 UAV の導入が進められてきた。回転翼 UAV は長時間、長距離、広範囲、高ペイロード、迅速性などの課題が指摘されており、特に滑走路、道路、鉄道、河川、海岸線

などの線状長距離インフラの点検に求められる長時間、広範囲、高ペイロードへの対応が困難である。そこで、長距離飛行が可能で、短時間に広範囲の点検、調査が可能となる固定翼 UAV に着目した。

本稿は、長時間、広範囲の迅速な計測、利用目的に合わせた精度での計測、計測結果のリアルタイム通信、診断・記録の省力化、点検結果表示の自動化などを目的として、線状長距離インフラの一つである滑走路の点検に活用できる、固定翼 UAV にカメラ、通信、AI 処理などの先端技術を組み合わせた点検システムの開発状況について報告するものである。

2. 固定翼 UAV による点検システム

(1) 点検システムの概要

固定翼 UAV の特徴は長時間、長距離自動航行が可能、かつペイロードが大きいことである。この特徴を活かして機体にカメラ 2 台（1 億画素カメラ、4K カメラ）及び AI 解析用 PC を搭載して高解像度の画像撮影と 4K 動画リアルタイムストリーミング・AI 異常検知を同時に実施するシステムを開発している（図-1）。

本点検システムの特徴は表-1 に示すとおりであり、広範囲を高速で飛行し、高解像度の画像撮影と画像のライブ配信を可能とするものである。



図-1 滑走路点検システムの概要

表-1 点検システムの3つの特徴

1. 広範囲を高速で飛行	長距離・長時間の連続飛行 時速 50~100km での高速飛行 衛星通信での自律飛行に対応
2. 高解像度カメラの搭載	1 億画素カメラにより高度 30m から 1mm のひび割れを撮像
3. 画像のライブ配信	独自の圧縮技術により、4K 動画をライブ配信 (LTE 10fps、衛星 5fps)

なお今回の実験では使用しなかったが、LTE 環境外を想定した過去の実験においては、前述の搭載機材に加えて衛星通信システムを搭載した自律飛行及びリアルタイム通信にも成功した実績がある。

(2)使用する固定翼 UAV の機体

今回の用途に利用する機体は、フジ・インバック(株)所有の大型無人航空機のうち、表-2 に示す W-2B を使用する。

フジ・インバック(株)の保有する機体の最大の特徴は、長時間、長距離自動航行ができる点であり、2021 年 11 月 静岡から西之島へ片道約 1,000km、総飛行距離約 2,100km、総飛行時間 21 時間の観測飛行に成功している¹⁾。

機体の特徴は以下のとおりである。

- ・長距離長時間飛行可能
- ・自動離着陸システム
- ・パラシュートを利用した短距離自動離陸、着陸システム (カタパルト発進可能)
- ・安全対策：対有人機自動回避システム、墜落防止装置 (パラシュート装備、制御可能、指定場所に自動着陸)
- ・衛星相互通信システム (目視外飛行可、衛星通信により相互通信が可能、映像及びデータ伝送可)
- ・夜間飛行可能

フジ・インバック(株)の固定翼 UAV は、これまでに西之島観測のほか、浅間山火山観測、福島第一原発被災状況観測、JAXA 地震計投下、物資輸送、はやぶさカプセル回収などの業務実績がある。

表-2 機体の概要

機体	
サイズ	3.07m × 4.90m × 1.18m
ペイロード	最大 15kg (燃料搭載量で変化)
巡行速度	90-110km/h (通常飛行時) 45-55km/h (パラシュート飛行時)

(3)搭載するカメラシステム

使用するカメラは、Phase One 製 1 億画素高解像度カメラと 4K カメラを搭載しており、表-2 内写真に示すように高解像度カメラ、4K カメラともにジンバルを介し、胴外に出し撮影する。平均巡航速度 50km/h および 100km/h で飛行しながら、30m~150m の高度から下方の画像を撮影する。

高解像度カメラは、630g の小型軽量カメラで、1 億画素 (11,664×8,750pix) の高解像度であることに加え、高光感度特性、広いダイナミックレンジを実現していることから、暗部についても鮮明な画像を取得できる。

(4)衛星通信システム

イリジウム社製の衛星通信モデム (重量約 7kg) の搭載も可能であり、LTE 環境外でもデータ送受信が可能なシステムを構築している。なお今回 (R5.6) の高松空港実験では衛星通信システムは使用していない。図-2 は R5.3 富士川滑空場での実験時の写真である。



図-2 衛星通信 (イリジウム社製) の搭載状況

3. 高松空港における実証実験

(1) 実験内容

A. 目的、実験項目

令和5年6月の運用時間前に高松空港の2,500m滑走路全域を対象にして、固定翼 UAV を活用した滑走路点検システムの実証実験を実施した。滑走路点検システム開発における過去3回の実証実験（R3.12 三保飛行場、R4.9 高松空港、R5.3 富士川滑走路）において残された課題（表-3）の解決を目的として実施した。

残された課題を踏まえて本実験では表-4の項目について検証を実施した。

表-3 過去の実験で残されていた主な課題と解決策

項目	課題	解決策
4K カメラでの撮影	画像(機体)の揺れ対策	適するジンバルの検討
	画像位置情報の取得	測位システムの開発
	飛行中のカメラ設定遠隔制御 リアルタイムストリーミング	(実現済)
1億画素カメラでの撮影	画像(機体)の揺れ対策	適するジンバルの検討
	飛行中のカメラ設定遠隔制御	設定変更制御
共通	日の出直後の画像撮影法	撮影時期、照度検討

表-4 R5.6 高松空港実験における項目

4K カメラでの動画撮影	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 撮影画像の質 ✓ リアルタイムストリーミング ✓ AI による異常検知及び位置測位
1億画素カメラによる静止画撮影	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 撮影画像の質 ✓ ひび割れ AI 検出

B. 撮影による検出対象

高松空港の滑走路(60m×2,100m)の直線部分における舗装面のひび割れ、模擬供試体(模擬ひび割れ、ボルト類)を撮影による検出対象とする(図-3)。

C. 飛行実験ケース

実験は、滑走路面全域の画像取得するために「高度30m飛行・3往復」と「高度40m飛行・2往復」の2ケースを実施した(表-5)。

CASE1(高度30m)の飛行ルートを図-4に示す。高度の違いによる1億画素カメラの撮影範囲の関係から高度30mの場合はサイドラップ率を30%として3往復することで滑走路全幅を撮影した(図-5)。

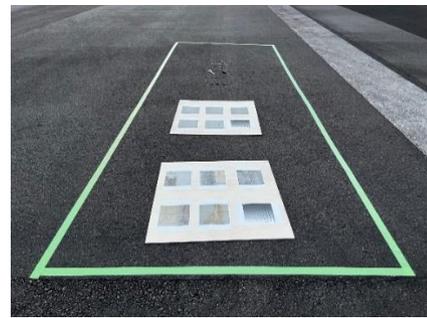


図-3 模擬供試体(手取り写真)

表-5 飛行実験ケース

	CASE1	CASE2
飛行高度	30m	40m
飛行速度	50km/h パラシュート飛行	50km/h パラシュート飛行
往復回数	3往復で全域を計測	2往復で全域を計測
飛行時間	約30分	約20分

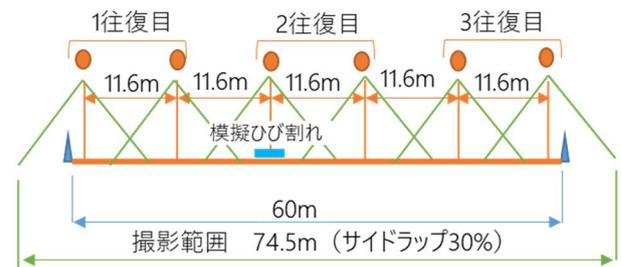
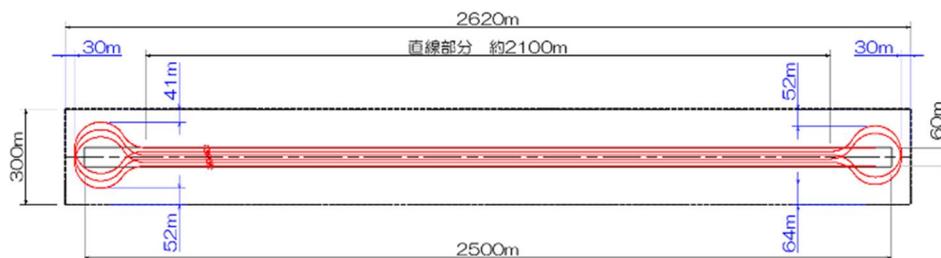


図-5 撮影範囲(CASE1: 高度30mの場合)



※ 青色の寸法は着陸帯に対するマージンを示す

図-4 実験飛行ルート(CASE1: 高度30mの場合)

D. 実験環境

前回（令和4年9月）の高松空港の実験では照度不足により点検に十分な画像を撮影できなかったため、本実験においては日の出時刻から経過時刻による照度に関して別途実証実験を実施した上で実験計画を立案した。具体的にはカメラ撮影に必要な500lx程度の照度が日の出15分後には確保されることを確認し、カメラ撮影の開始時間を設定した。

(2) 実験結果

2 ケース合計で 25km、50 分間を安定飛行した。本実験では、過去3回の実証実験で残された課題であった、機体の揺れによる撮影ブレ等の抑制、日の出直後の鮮明な画像取得、飛行時のリアルタイム異常AI検知・位置測位等の改善状況を確認した。

A. 4K カメラによる撮影結果

・撮影動画の質

CASE2（高度40m）の撮影画像を図-6に示す。これは飛行中に撮影した動画を4Kリアルタイム配信したデータである。

日の出後の撮影タイミングを調整した実験計画で臨んだ結果、模擬供試体を鮮明な画像取得に成功した。また UAV 飛行中に生じるヨウ角に対しては、画像内の白線角度からカメラ画角を補正（AI）して撮影することにも成功しており、今回準備したジンバルも機能していたものと考えられる。

・リアルタイムストリーミング

動画アクセスページをクラウド上に用意し、アクセスページ内に埋め込んだ4Kカメラ動画をリアルタイムで配信（10f/s）し、これを陸上のPCなどで閲覧できることを確認した。

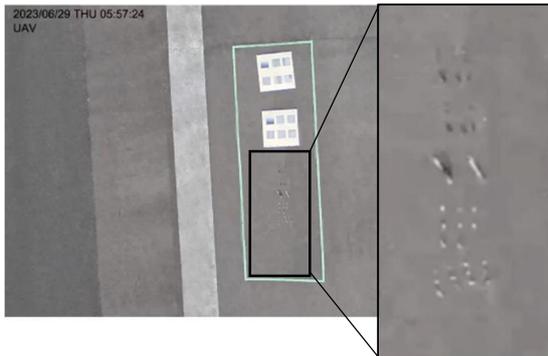


図-6 「4K カメラ」による撮影動画（高度40m）

・AIによる異常検知及び位置測位

機体に搭載したAI解析用PCを活用して、舗装面上の異常のリアルタイム検知を実施した。異常検知はひび割れを対象としており、異常検知箇所の位置測位も同時に実施している。

B. 1億画素カメラによる撮影結果

・撮影画像の質

1億画素カメラで撮影した模擬供試体の画像を図-7、ひび割れ補修跡の画像を図-8、舗装打ち継ぎ目ひび割れの画像を図-9に示す。日の出後間もなく若干鮮明さは落ちるもののボルト類を視認できる結果であった。またひび割れ補修跡および打ち継ぎ目ひび割れを鮮明に撮影できていることも確認できた。

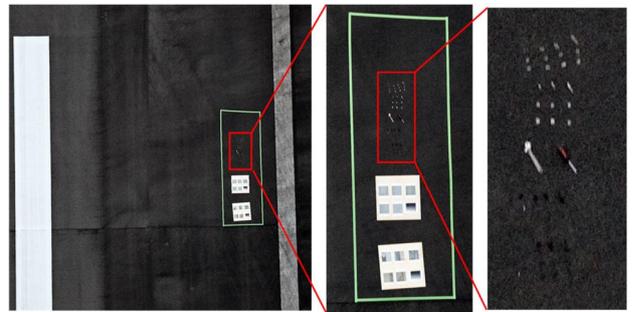


図-7 「1億画素カメラ」による模擬供試体の撮影結果（高度30m）



図-8 「1億画素カメラ」による令和3年に発見したひび割れの補修跡の撮影結果（高度30m）



図-9 「1億画素カメラ」による令和5年に発見したひび割れの撮影結果（高度40m）

・ひび割れ AI 検知

1 億画素カメラで撮影した画像 (CASE 1) を対象にして、ひび割れ補修跡を AI 検知した結果を図-10 に示す。この AI はセマンティック・セグメンテーションを用いている。黄色の点が連続して示されている箇所が AI 検知したひび割れ (補修跡) であり、1 億画素カメラ画像の目視結果と同じ位置を自動検知できていることがわかる。

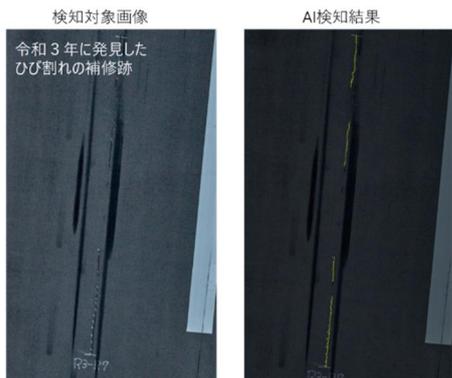


図-10 ひび割れ補修跡の AI 検出

4. これまでの成果と実務への応用

(1) これまでの実験成果

過去の実験分も含めこれまでの実験成果をまとめると、安定した自律飛行、4K 動画ストリーミング及び AI 技術を駆使した異常検知、1 億画素カメラによる超解像度撮像、2 時期画像の位置同期及び変状の進行性差分 AI 解析の成果が得られた (表-6)。

(2) 滑走路点検への適用

高松空港における従来の目視による巡回点検では 3 日 (夜間) を必要としていたが、固定翼 UAV による点検は日の出後の営業開始前の 30 分程度の時間で滑走路全域のデータが取得でき、効率化を進めることが確認できた。本点検システムを滑走路の巡回点検に適用することで点検作業の省力化、精度向上・見落とし防止、進行性把握、客観性向上など図-11 に示す効果が期待される。

日々行われる定時点検についても、4K カメラのリアルタイムの撮影・配信・解析を適用することによって安全性向上に向けた滑走路管理の高度化方策を示したものと考えている。

表-6 これまでの実験成果まとめ

① 安定した自律飛行実現	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 約 50 分間で合計約 25km を飛行 ✓ 予め設定したウェイポイントでの旋回を確認 (滑走路両端に配置した補助員が確認) ✓ 過去 3 回の実験と合わせて安定した自律飛行実績を蓄積
② 4K 動画ストリーミング & AI 技術を駆使した異常検知に成功	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 飛行中の 4K 動画リアルストリーミング (10f/s) に成功 ✓ AI 技術を活用したヨウ角補正した撮影に成功 ✓ 路面損傷等の AI による異常検知及びその位置測位に成功
③ 1 億画素カメラによる超解像度撮像に成功	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 高度 40m、速度 50km/h という条件下において滑走路路面上のひび割れ 1mm の撮像に成功 (高度 100m、速度 100km/h にてひび割れ画像認識を確認) ✓ 変状検出 AI により、1mm ひび割れ、補修跡検知に成功 ✓ タイル分割による変状マップ、補修履歴管理システムの開発
④ 画像同期、進行性差分 AI ²⁾	<ul style="list-style-type: none"> ✓ AI による 2 時期画像の位置同期、変状進行性差解析に成功 ✓ 空港などの舗装のほか、トンネル、橋梁などインフラ管理にも活用 ✓ ひび割れ検出精度向上、ひび割れ幅検知、差解析などシステム開発完了

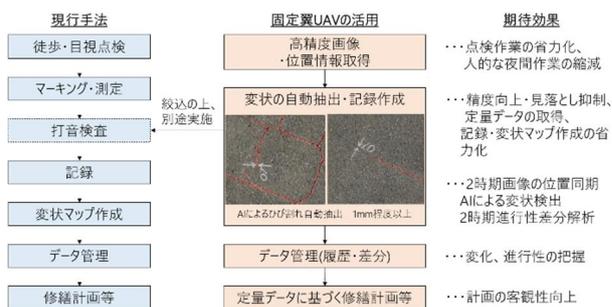


図-11 巡回点検への点検システムによる期待効果

これらの実用化に向けては、本点検システム (AI 検知精度の精度向上、検知後の自動化、補修履歴情報との管理一元化等) の完成度をさらに高めていくことを推進する。日の出後の照度については、今回は実証実験のため定時点検前の実施であったが、定時点検の時間帯での同時実施とすることになれば滑走路点検への適用可能時期が広がることになる。

(3)他のインフラ管理への展開

今回開発している点検システムは、道路、河川、鉄道などの線状インフラの調査・点検への活用も可能な技術であるため、滑走路点検システムとして確立した後は他インフラでの展開を進める予定である。

また地震・豪雨が発生した際の災害調査への活用も視野に入れている。発災後速やかに固定翼 UAV を被災地に飛行させ、飛行しながら 4K カメラによりリアルタイムストリーミングで画像を送信し、被災状況の把握を支援する。このとき機体内で AI による災害箇所の検知を行ってアラートを発報し、その位置を測位して、測位した位置に再度機体を自動誘導し、1 億画素カメラで詳細・鮮明な被災状況の把握を支援する仕組みである。

5. おわりに

現在、国土強靱化や国民生活の安全向上のため、DX を始めとする新技術を活用した様々な取り組みが加速的に進められている。本稿で対象にしたインフラ構造物の点検・診断や被災調査は、まさしく新技術による効率化、高度化が求められている先端領域である。

筆者らは、これまでにインフラ構造物点検への新技術活用について、画像以外の計測デバイスの適用や AI による様々な支援を含め、多くの技術開発を行ってきた。その過程で、広範囲、長距離、長時間、迅速性などの課題に対して、新たな技術の必要性を感じてきた。その意味で、今回の検証結果は、固定翼 UAV を活用した技術によって、課題解決できる可能性を高い確度で実証できたといえる。3000m 級の滑走路であれば 30 分程度で画像取得ができ、災害発生時には短時間に目的地に移動でき、迅速な対応が期待できる。

今後は、固定翼 UAV の更なる活用を目指し、多目的利用に向けた展開、衛星・走行型計測などとの技術融合、画像以外の計測技術の組合せ、通信技術の高度化、取得データの 2 次利用としての

データマネジメントなどに取り組み、安全・安心な社会実現に向けて取り組んでいく所存である(図-12)。

空間情報を活用した維持管理・災害対応

・ 空間情報に係る先端技術を活用し、線状・広域インフラの効率的な調査・点検、災害時の広域的・迅速な初動対応を実現



図-12 空間情報を活用した維持管理・災害対応

謝辞

2 時期位置同期、損傷差分等の AI による画像処理は、(株)インキュビットが提供する IncuVision ひび割れ検出モジュールを利用した。ここに謝意を申し上げる次第である。

《参考文献》

- 1) <http://www.fuji-imvac.jp/>
- 2) 安田、関口、川城、山田、斉藤、田辺、固定翼 UAV を活用したインフラ点検・調査～AI 画像処理技術を滑走路点検、災害調査等に活用、土木施工：特集：インフラメンテナンスの現在 2022 (維持管理・補強・更新)、2022.7
- 3) 岡本、上村：高松空港株式会社、巡回点検 I の効率化の取組事例 固定翼 UAV による滑走路点検システムの実験、空港土木施設の維持修繕工事に係る連絡会、2023.10.30