

全自動型 UAV と衛星ブロードバンドインターネットを活用した インフラ遠隔自動点検システムの開発

Development of the Remote Automatic Inspection System for Infrastructure Using Fully-Autonomous UAV and Satellite Broadband Internet

勝 部 峻太郎^{※1}
Shuntarou Katsube

松 田 浩 朗^{※1}
Hiroaki Matsuda

小 林 剛^{※2}
Takeshi Kobayashi

【要旨】

筆者らは、4GLTE 通信可能な UAV 機体と建設現場内に常設可能なドローンポートからなる全自動型 UAV に着目し、建設現場における遠隔自動運用とデータ活用を行ってきた。

さらなる高度利活用を行う技術として、適用範囲の拡大や安全性向上を目的に、全自動型 UAV と衛星ブロードバンドインターネットを活用したインフラ遠隔自動点検システムを開発し、運用中の小水力発電所において実証実験を実施した。その結果、モバイル通信不感地域かつ非 GNSS 環境における安全安心な UAV 遠隔自動運用、第三者立ち入り管理の省力化と自動記録、変状抽出と管理者への提示、UAV センシングの自動化、プラットフォーム統合によるユーザビリティ向上と関係者間での迅速な意思決定の支援が可能であった。

【キーワード】 UAV 非 GNSS 衛星ブロードバンドインターネット API

1. はじめに

日本の建設業は、就業者数の減少と高齢化の進行による担い手不足が深刻となっている。国土交通省は i-Construction 施策を打ち出しており、リモートセンシング手法としての UAV (Unmanned Aerial Vehicle, 無人航空機) への注目が高まっている。従来の有人航空機を利用した空撮に比べ、UAV による空撮は短時間、低コスト、低リスクでの実施が可能となり、建設、測量、点検分野での UAV 活用が急速に進展している。

しかしながら、操縦や充電等の保守作業といった UAV の運用や、得られたデータの取り出しやその分析といった UAV 取得データの活用において課題があり、UAV の飛行・撮影から得られたデータに基づく評価分析まで、一連のプロセス全体の自動化が困難であった。

上記課題に対し筆者らは、4G LTE 通信可能な UAV 機体と建設現場内に常設可能なドローンポートからなる全自動型 UAV に着目し、建設現場における UAV のレベル 3 飛行 (無人地帯における補助者なし目視外飛行) による遠隔無人運用、データ連携と高度利活用に関する研究を実施している¹⁾。

さらなる高度利活用を行う技術として、適用範囲の拡大や安全性向上を目的に、インフラ遠隔自動点検システムを開発した。

本論文では、開発したシステムの概要と、有効性を検

証した実験について示す。

2. インフラ遠隔自動点検システムの概要

開発したインフラ遠隔自動点検システムの概要を図 1 に示す。本システムは、UAV 部、ネットワークインフラ部、エッジ部、クラウド部により構成され、屋内外、通信環境シームレスかつ省力的、高度な遠隔自動点検を実現する。

(1) UAV 部

Visual SLAM による測位と全周囲障害物回避機能を備える UAV 機体および、屋外対応 (IP56) ドローンポートを採用することにより、非 GNSS 環境下においても屋内外での UAV 遠隔自動運用を可能とする。

(2) ネットワークインフラ部

衛星ブロードバンドインターネットおよび、屋外対応 (IP65) メッシュ WiFi アクセスポイントを採用することにより、モバイル通信不感地域であっても高速、低遅延、シームレスなインターネット通信環境を広域で構築可能としている。

(3) エッジ部

UAV の遠隔管制を目的として、リモート管制システムを開発した。本システムにより、ドローンポート周辺の

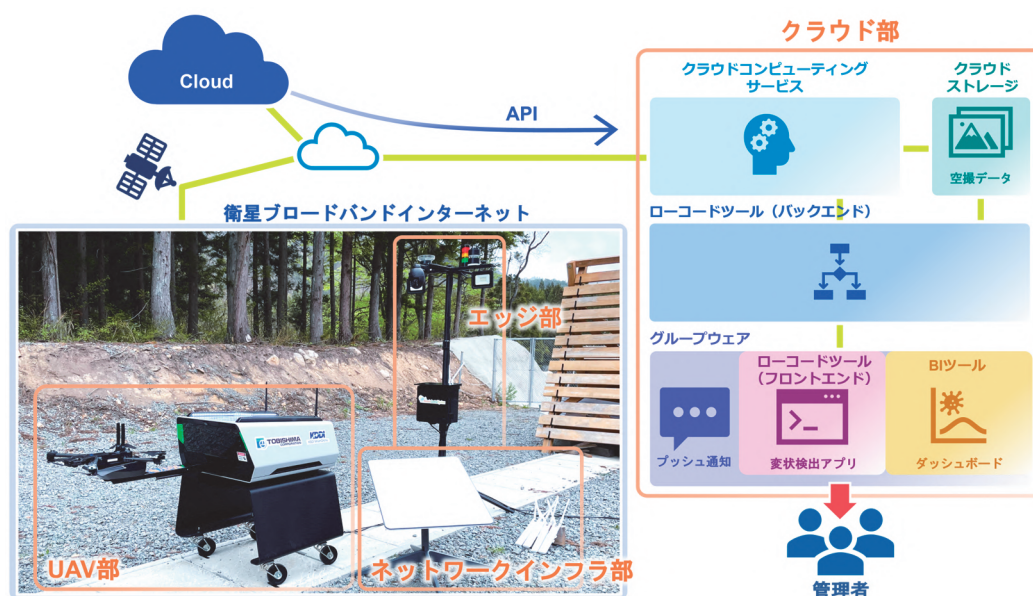


図-1 インフラ遠隔自動点検システムの構成

気象データや映像データの取得、および警告灯による離着陸時や第三者接近時の警告発報を行うことで、UAVの安全安心な遠隔自動運用を可能とする。

(4) クラウド部

UAVセンシングのプロセス一元化を目的として開発したクラウドシステムにより、①リモート管制システム取得データのダッシュボード表示、②空撮データの専用クラウドサーバへの自動アップロード、③機械学習を用いたリアルタイム物体検出通知、④変状検出、⑤各機能のプラットフォーム統合、が可能となり、UAV取得データ活用による業務の自動化と高度化およびユーザビリティ向上を実現する。

なお、今回のクラウドシステム開発においては、飛鳥建設が全社導入しているグループウェアをプラットフォームとしている。また、UAVのAPI（Application Programming Interface: プログラムの機能を外部から利用できるようにするインタフェース）および、各種クラウドサービス（クラウドコンピューティングサービス、クラウドストレージ、ローコードツール、BIツール）を活用している。

3. 小水力発電所での遠隔自動点検の実証実験

インフラ遠隔自動点検システムの有効性検証を目的として、飛鳥建設と株式会社オリエンタルコンサルタンツ（代表取締役社長: 野崎 秀則）が共同で発電事業を行っている米沢大平小水力発電所（山形県米沢市）（写真-1）にて実証実験を行うこととした。

3-1. 実証実験の背景

中山間部に位置する小水力発電所においては、居住エ

リアから離れているため維持管理業務に大きな労力を要すること、災害発生後の迅速な初動対応に時間を要することから、効率的な維持管理手法が求められている。

昨今では、UAVを用いた遠隔自動点検も採用されつつあるが、地形や樹木によりGNSS衛星電波が遮蔽されることや、モバイル通信電波が届かずインターネットが利用不可であることから、UAVの採用は限定的であった。

一方で、UAV空撮データについても、手動でのデータ管理作業や管理者の目視による判断が必要であり、データ取得後のプロセスの自動化や省力化が求められていた。

3-2. 実証実験の結果

(1) UAVの遠隔自動運用

図-2、写真-2に示すように地形や樹木によりGNSS衛星電波が遮蔽される環境下でも、安定したオートフライトや、構造物に近接（最小約1.5m）したフライトおよび空撮が可能であった。また、高精度な自己位置推定が



写真-1 米沢大平小水力発電所の設備概要



図-2 取水口周辺での自律飛行時の配信映像



写真-2 UAVによる設備点検の状況



写真-4 現場に設置した衛星アンテナ



写真-5 現場に設置したメッシュWiFiアクセスポイント

可能なことから、異なる時期にそれぞれ実行した同一ミッションのオートフライトにおいて、**写真-3**に示すように構図合致精度の高い写真を空撮可能であった。

写真-4、**写真-5**のように衛星アンテナおよびメッシュWiFiアクセスポイントを設置することにより、モバイル通信不感地域であっても、下り200Mbps程度、上り15Mbps程度、レイテンシ30ms程度でのインターネット通信を確認した。これは、UAVメーカーが規定するネットワーク要件における「良好」に相当する²⁾。また、UAV機体の移動に伴う高速かつシームレスなローミングが可能で



(a) 2023年8月撮影



(b) 2023年11月撮影

写真-3 異なる時期に空撮した余水路の写真



写真-6 現場に設置したリモート管制システム

あった。

これらのネットワークインフラを利用することにより、UAVの安定した遠隔自動運用やリアルタイム映像配信が可能とし、点検業務の迅速化、省力化を実現している。

(2) リモート管制システムによる周辺監視

写真-6に示したリモート管制システムを現場に設置した。**図-3**に示すようにリモート管制システム取得情報(気象データ、機体データ、映像データ)のダッシュボード表示により、ドローンポート周辺やUAV機体のリア

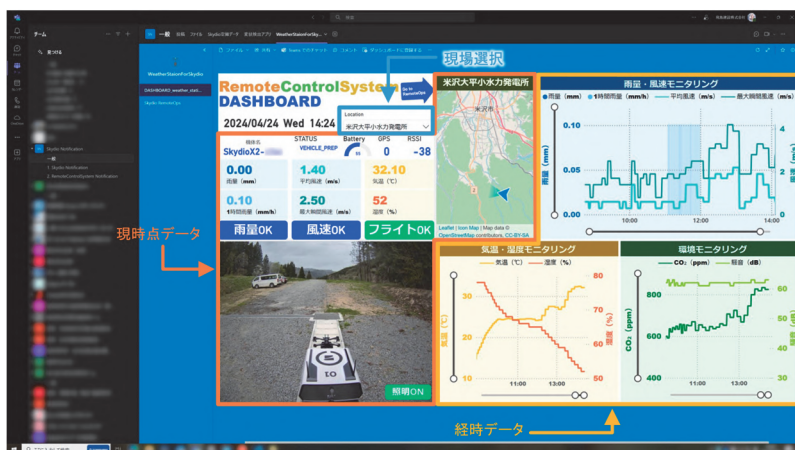


図-3 リモート管制システム取得情報のダッシュボード表示

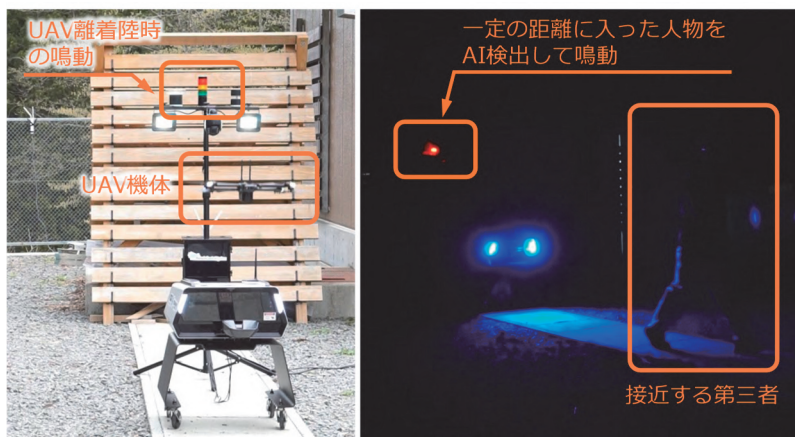


写真-7 リモート管制システムによる警告発報
(左: UAV 離着陸時, 右: 第三者接近時)

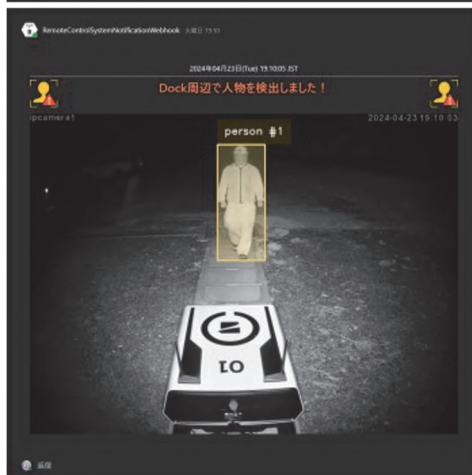
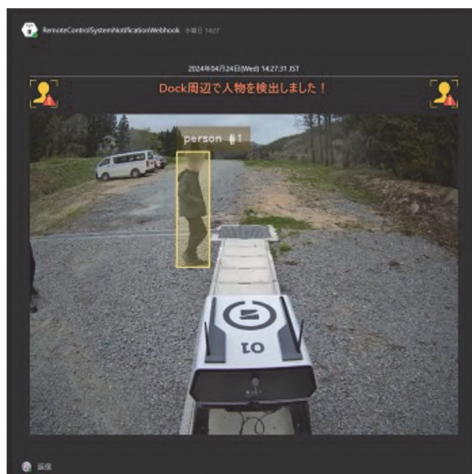


図-4 第三者接近時のグループウェアへの
プッシュ通知 (上: 日中, 下: 夜間)

リアルタイムモニタリングが可能であった。また、写真-7に示す離着陸時および第三者接近時の警告灯鳴動、および図-4に示すグループウェアへのプッシュ通知により、管理者の負担を軽減しつつ、UAVの安全安心な遠隔自動運用が可能であった。

(3) AI 物体検出による立ち入り管理

図-5に示すようにUAVのリアルタイム配信映像 (カラーカメラおよび赤外線カメラ) に基づく、人物や車両のAI物体検出およびグループウェアへのプッシュ通知が可能であった。これにより、第三者立ち入り管理の省力化と自動記録を実現している。

(4) 空撮データの自動アップロード

UAV飛行後に空撮データをクラウドストレージに自動アップロードすることにより、関係者間での迅速なデータ共有が可能であった。



図-5 UAV のリアルタイム配信映像に基づく AI 人物検出
およびプッシュ通知 (左: 日中, 右: 夜間)

(5) 空撮データに基づく変状抽出

空撮データに基づく変状抽出機能を開発した。これは、写真-3に示した空撮データの構図合致精度の高さを利用し、異なる時期に空撮した2枚の画像を用いて、背景差分法により抽出した経時変化箇所を重畳表示するものである³⁾。抽出結果を図-6に示す。

本機能により、発電所設備の経時変化箇所の自動抽出および管理者への提示が可能であった。これにより、点検業務の効率化および定量化を実現している。

(6) プラットフォーム統合

今回開発した各機能を、飛鳥建設が全社導入しているグループウェアをプラットフォームとして統合することにより、ユーザビリティ向上と関係者間での迅速な意思決定の支援を可能とした。

4. まとめ

今回、合理的なインフラ遠隔自動点検の実現を目的に、インフラ遠隔自動点検システムを開発した。そして、運用中の小水力発電所において実証実験を行い、以下の結果を得た。

- モバイル通信不感地域に所在する運転中の小水力発電所において、非 GNSS 環境下であっても UAV の安定した遠隔自動運用が可能であった。
- 開発したリモート管制システムにより、管理者の負担を軽減しつつ、UAV の安全安心な遠隔自動運用が可能であった。
- UAV 取得データを高度に活用することで、第三者立ち入り管理の省力化と自動記録、変状抽出と管理者への提示が可能であった。
- API やクラウドサービスを活用し、UAV センシングのフローの一气通貫での自動化が可能であった。
- 開発機能のプラットフォーム統合により、ユーザビリティ向上と関係者間での迅速な意思決定の支援が可

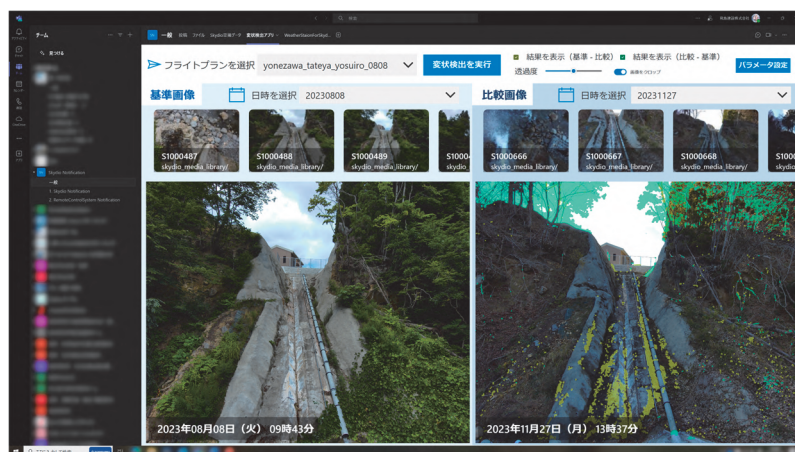


図-6 変状抽出機能による抽出結果

能であった。

本システムは、建設現場における技能者や資機材のカウントや位置管理、および進捗管理や出来高算出といった業務への適用も可能であると考えられる。今後は、人手不足や生産性向上といった建設工事の課題を解決するための手段として、屋内外を問わずあらゆる領域の工事現場を念頭に置き、本システムを活用していく予定である。また、AI 検出精度向上や検出対象の拡大、他のドローンやロボットとの連携などを目指し、建設現場のさらなる省力化および安全性向上を進めていく所存である。

【参考文献】

- 1) 勝部峻太郎, 松田浩朗, 藤本克郎, 古宮正勝, 武田光汰, 貴島康二, 及川典生, 高橋元気, 佐藤匠: UAV を用いたトンネル地表面のリモートセンシングにおけるプロセス自動化・データ活用高度化の試行, とびしま技報, No.71, pp. 50-58, 2023.
- 2) Skydio, Inc: Skydio Cloud System Requirements, <https://support.skydio.com/hc/en-us/articles/17934391659035-Skydio-Cloud-System-Requirements> (accessed 2024.8) .
- 3) 勝部峻太郎, 松田浩朗, 小林剛, 貴島康二: Visual SLAM 方式 UAV のインフラ設備点検への適用性検証, 土木学会第 79 回年次学術講演会, CS11-42, 2024.

Summary The authors have applied remote automated operation and data utilization at construction sites, using a fully-autonomous UAV consisting of a UAV capable of 4G LTE communication and a drone port that can be permanently installed at the construction site. To further broaden UAV applications, we developed the Remote Automatic Infrastructure Inspection System that utilizes a fully-autonomous UAV and satellite broadband internet to expand the range of applications and enhance safety. Results of demonstrations and testing carried out at a small hydroelectric power plant currently in operation show that the system allows the safe and secure remote automatic operation of a UAV in mobile communication blind areas and non-GNSS environments. The system improves usability and supports rapid decision-making by reducing labor requirements and automating the recording of third-party management actions, identification of anomalous incidents, and reporting. The system automates UAV sensing and advances platform integration.

Key Words : UAV, Non-GNSS, Satellite Broadband Internet, API