

## 2025年度 新産業創出研究会「研究成果報告書」

### 「建築物外壁の高精度欠陥検出を行うための UAV 自律飛行による完全自動システム」

[ 岡山理科大学 ・ 教授 ] [ クルモフ バレリー ]

[ 川崎医療福祉大学 ・ 助教 ] [ 高谷 健太 ]

#### 1. はじめに

建築基準法第 12 条より 3 年毎に実施される公共施設の建物の敷地・構造・設備の劣化状況の点検が義務付けられている。そこで、外壁点検への対応が必要であるが、長時間とコストのかかる打診による調査が主に行われている。しかし、赤外線調査法およびサーモグラフィの普及により、赤外線調査の信頼性が向上されており、さらなる利用が期待されている。特に、赤外線法を適切に導入すれば[1]、打音法に比べて大きく優れている[2]。

近年、点検の効率化向上を目指し、赤外線調査時にドローンの手動操作により点検が実施される[3]が、調査に時間がかかり、壁面を確実に 100 %撮影することの保障が困難で課題である。さらに、従来の UAV (Unmanned Aerial Vehicle) による調査方法では、熟練操縦者が操作しても、壁面に対して一定の速度・距離を維持することが不可能で、長時間と労力を費やすことになる。

本研究で開発する技術は、従来の建築物外壁点検法に比べて、次のような高い優位性がある。

- (1) **自律飛行による壁面点検:** 自律飛行による点検を行うことで熟練操縦者と足場を組むことが不要となることからコスト削減が見込まれる。
- (2) **高安全性:** 各種センサにより建築物の突起部、形状変化等を感知・回避し、ヒューマンエラーによる事故防止ができる。
- (3) **高効率化:** 自律飛行による壁面点検を行うことで熟練操縦者が不要となるだけでなく、一定の飛行速度が保証でき、点検時間の大きな短縮が見込まれる。さらに、壁面との一定の距離を保つことから、検査精度が大きく向上される。

本研究開発において、国産ドローンを用いることが大きな特徴であって、建築分野へ寄与することだけでなく、国内のドローン製造者の技術レベル向上および新しいビジネス・製品サービスへの貢献が期待できると考えられる。

本報告書では、自律飛行システムの研究開発について記す。

#### 2. 概要

##### 2. 1. UAV システムの構成

###### (ア) ハードウェアの構成

本システムに用いるドローンの外観を図 1 に示す[4]。ドローンはフライトコントローラ (FC) により安定化制御されているが、搭載している Onboard computer が自律飛行制御を行っている。全てのセンサとカメラをオンボードコンピュータに接続している。高精度に UAV の位置を測定するために RTK (Real-Time Kinematics) を実現している。非

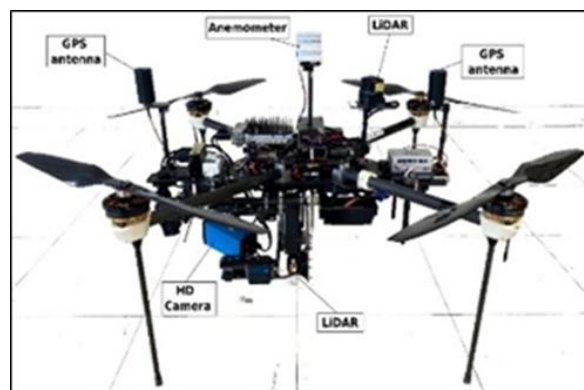


図 1: 開発 UAV システムの外観

GPS 環境でのナビゲーションは IMU および深度カメラを用いて実装している。水平方向への障害物検知と壁面との距離を測定するために LiDAR センサを採用しており、壁面距離の測定値をカメラの電動フォーカス調整にも使用する。本システムは 25 m/s の風速時にも飛行できるが、壁面点検の場合、10 m/s を点検可能な最大風速としている。

#### (イ) 制御ソフトウェア

全てのセンサ用ソフトウェアモジュールは ROS (Robot Operating System) 下で動作している。本システムの制御ソフトウェアを開発したシミュレーション環境にて検証している。その環境内にドローンの数学モデルと各種センサのモデルを構築し、ドローン自律飛行に重要な制御技術の開発および高度なテストを行う。シミュレーションは研究開発する技術の安全性・動作精度・信頼性を確認するため必要不可欠なテストベッドである。シミュレーション環境で開発・検証した制御ソフトウェアをドローンに搭載している制御用コンピュータに転送することで、改変することなく使用できる。実際の点検では、地上のコンピュータに開発したグラフィカルユーザインターフェイスがテレメトリ情報や点検状態などを表示しているが、自動点検時に地上からドローン制御操作は行われていない。唯一に地上コンピュータから「点検停止」コマンドだけが送信可能である。

表 1: UAV 位置制御の達成目標

項目	目標値
UAV 位置制御精度 (GPS 環境下)	±0.01 m
UAV 位置制御精度 (非 GPS 環境下)	±0.05 m
障害物検出寸法	4 mm 以上
自動点検速度	> 20 m <sup>2</sup> /min

#### 2. 2. 研究開発の目標

上記に述べたハードウェアおよびソフトウェアの設計・開発した上で自律飛行の制御システムについて研究を行う。そこで、本研究において目指す UAV 位置制御の達成目標を表 1 に示す。同表の各項目の達成結果について次節にて詳細に述べる。

### 3. 研究成果および今後の課題

#### 3. 1. UAV 位置測定精度

UAV の位置測定精度は、利用するアンテナや移動体の挙動等により決定される。そこで、RTK システムにより測定するドローンの位置精度を評価するためテストベッド装置を開発した。本装置は、固定局 (相対位置の基準) と移動局 (ドローンの代用) からなっ

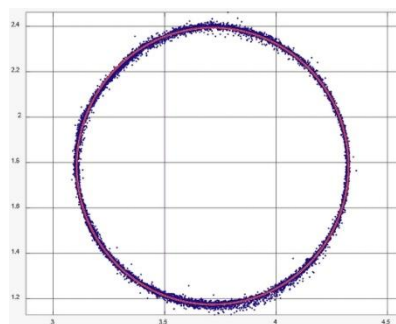


図 2: 移動局の相対位置 [m]  
(横軸: East, 縦軸: North)

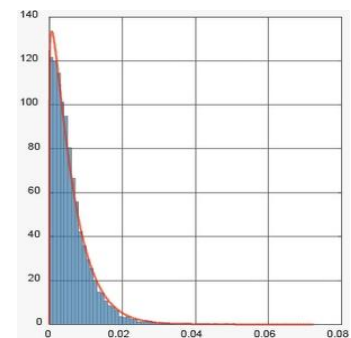


図 3: 誤差確率密度関数  
(2D 誤差 [m])

ており、RTK を実装している。移動局は減速ギヤ付き直流モータにて円運動をさせている。移動局のおよそ 7500 の位置測定点について、実際の経路との位置誤差を計算して、統計的に処理している。結果

の一例を図 2 と図 3 に示す[5]。図 2 中の赤線は実際の経路を示しており、青色の点は測定値である。図 3 は位置計測の確率密度関数(Probability Distribution Function)である。結果として、75%の測定点は 0.01 m の精度で、96%は 0.018 m の位置精度を持つことが明らかである。なお、今回のデータ処理にはワイブル分布を用いた。上記の結果より、ドローンの位置測定が目標値を十分に満たしていると判断する。

### 3. 2. 非 GPS 環境下ナビゲーション

非 GPS 環境下のナビゲーションを実現するのに、まず、その機能のテストシステムを設計作成した。本システムはドローンに搭載されるものであり、UAV 用フライトコントローラ(FC)、コンパニオンコンピュータ、GPS 受信機およびインテル社の Realsense カメラと高精度な IMU モジュールからなる。本システムの構成を図 4 に示す。非 GPS 環境下ナビゲーションは次のように構築される。コンパニオンコンピュータは、高精度 IMU から UAV の 6DOF 姿勢データを読み込む。次に、座標変換によるカメラの座標を UAV の座標とあわせる。最後に、さらに、カメラの画像からの位置推定情報を加え、MAVLink プロトコルのメッセージとして位置情報をドローンの FC に転送する。ただし、現時点では非 GPS 環境下ナビゲーションモードは開発中であり、その実現を今後の課題としている。

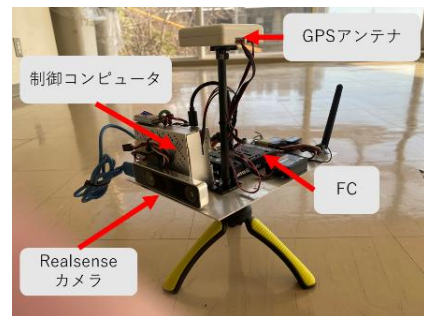


図 4:非 GPS 環境用テストシステム

### 3. 3. 壁検知ならびに障害物検知について

壁面距離測定と障害物検知のために同じ LiDAR センサ[6]を用いている。現在は、図 1 の示すように 2 台の LiDAR を用いている。一方はドローンと壁面との距離を測定し、もう一方は下方への障害物検知をする。本センサの最大測定範囲は 320° であるが、壁面検知用 LiDAR は、正面と左右方向へ壁面検知できるため  $\pm 90^\circ$  測定で利用する。下方向きのセンサの測定範囲が  $\pm 120^\circ$  となっている。本研究の実用化への発展時に上方向きの LiDAR を加えることを計画しており、周囲 360° での障害物感知ができることになる。本研究では 4 mm 寸法の障害物検知を目標としており、



図 5:障害物検知実験の様子 (赤枠はカーボンボール)

検証試験をするため図 5 のテスト装置を構成した。LiDAR と障害物として用いる直径 0.04 m のカーボンボールをそれぞれ三脚の上に固定し、相対距離を 1 m から 4 m まで変えながら検知能力を検証した。測定試

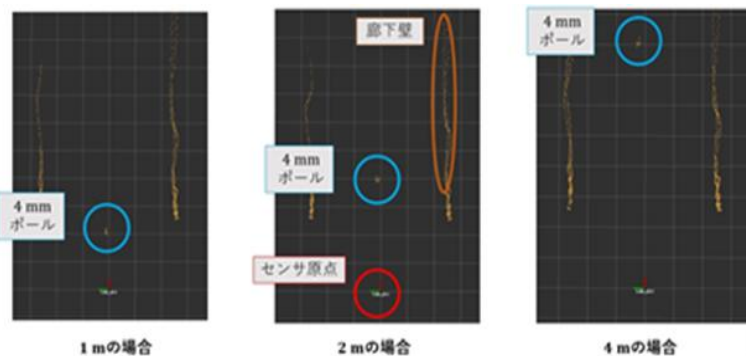


図 6:直径 4 mm の障害物の検知実験結果

験時にセンサの設定を $\pm 45^\circ$ とし、信頼性向上のため一測定には2スイープの測定データを用いている。2500個の測定値からなるデータサンプルに対してフィルタ処理をし、障害物(カーボンポール)の位置を求める。フィルタ処理には、ノイズフィルタと移動平均フィルタ等を用いる。

本試験の測定結果を図6に示す。同図より4mまでの距離で直径0.04mの障害物の検出が可能であることが明らかである。なお、本実験は大学の廊下内に行われたので、各画像の測定データに廊下の壁が写っている。4m以上の距離で寸法4mmの障害物の検出が困難であることも確認したが、障害物の回避が十分に可能であると確信している。

### 3.4. 点検速度の検証

本研究において目標点検速度は20  $\text{m}^2/\text{min}$ であるが、行ったシミュレーションおよび自律飛行実験より点検速度がおおよそ30  $\text{m}^2/\text{min}$ が実現可能であることを検証した。その結果を図7に示す。図7は実際の飛行実験の結果であり、同図に点検速度の計算結果も写している。ただし、障害物回避や曲面形状の壁面の場合速度が低下することが予測される。

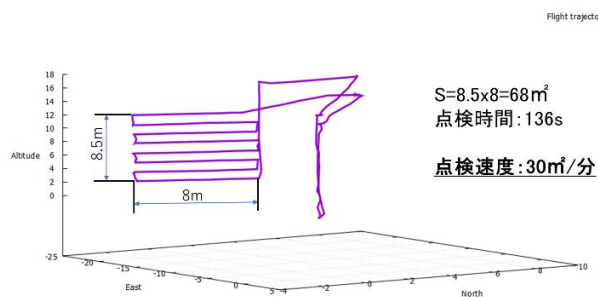


図7: 点検速度の検証結果

### 3.5. 壁面の欠陥位置測定精度

図8に欠陥位置の推定概要を示す。そこで、離着陸展原点を持つローカル座標系と壁面の座標系が記されている。ドローンの位置および壁面座標系はローカル座標系内である。

飛行中に検出された壁面の欠陥に対して欠陥の位置をUAVに搭載したカメラの座標系で求めてからローカル座標系への位置変換および壁面座標系への変換を行うことで高精度の測定が可能であることを既に過去の研究において実用的なレベルで証明と検証を行った[4]。

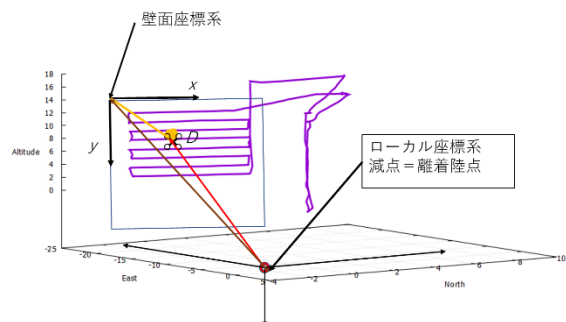


図8: 欠陥位置計測の概念図

今回の研究開発においては、自律飛行により確実に壁面の自動点検が主な目的であるので、実用化研究への発展が図れることとなったときに欠陥位置測定の実現をするべきであると判断した。

## 4. おわりに

本研究の目的は、UAVの自律飛行による建築物外壁の自動点検技術の開発である。そこで、まず、過去の研究成果をもとにしてシミュレーションにおいて自動点検を検証する環境を開発した。シミュレーション環境内で開発する制御方法をテスト・検証し、できあがった制御ソフトウェアをUAV搭載のコンパニオンコンピュータへ直接使用できるようになった。次に、本研究の成果を検証するのに壁面の自動点検実

験を複数回実施して、優れた技術ができたことを証明した。さらに、障害物検出の精度や自動点検の速度も実験にて検証して目標値を上回った成果が得られた。

## 5. 本研究の今後の計画

本研究成果より高精度および高安全な自律飛行による建造物の外壁自動点検が実現可能であることが明らかになった。今後は、建築基準法第 12 条を実施している企業とともに実用化研究への発展を強く望んでいる。そこで、国内ドローン製造企業の製品を選定して、本技術に必要なハードウェアを搭載し、実用的な機体を実現してから、制御方法を改善しながら、AI を用いた画像処理によるリアルタイムで壁面欠陥の確実な認識できる技術への発展も目指す。

## 6. その他

(1) 出願特許(タイトル・出願番号・発明者・特許権者など)  
検討中

(2) 投稿論文・発表(タイトル・学会名等)

クルモフ バレリー, 高谷 健太, 太田 寛志, 小林 一昭: UAV 自律飛行による建築物外壁の自動点検システム, OUS フォーラム, 「基礎から応用・未来技術への出会いと対話」, 岡山コンベンションセンター(2025/11/21)

クルモフ バレリー, 高谷 健太, 太田 寛志: CT-26-006 UAV 自律飛行による建築物外壁の自動点検システム, IEEJ 制御理論・制御技術一般(スマートシステムと制御技術シンポジウム 2026) 論文集, pp. 23-25, 倉敷市(2026/1/7-8)

(3) 本研究会の参加企業・団体名

株式会社真庭運創研(岡山県真庭市勝山 620-5)

## 参考文献

[1] T. Sakagami, D. Sato, D. Shinozawa, and Y. Ogawa: “Accuracy Improvement of Building Tile Wall Diagnosis Using an Infrared Camera with Sensitivity in the 5-8 $\mu$ m Wavelength Range”, Journal of N.D.I, Vol. 72, No.11, pp. 516-522 (2023)

[2] 天野勲, 山川和夫, 伊藤秀和: 「特殊建築物の外壁診断における赤外線調査ガイドライン」, 建設の施工企画, No. 2, pp. 70-76 (2009)

[3] (株)ユキ商事: 「赤外線外壁調査」, <https://yukishoji-big.com/> (2025 年 12 月閲覧)

[4] K. Takaya, H. Ohta, K. Shibayama, A. Inoue, and V. Kroumov: “Construction of Power Line Inspection System Using a Quadrotor Helicopter”, IEEJ Trans. Electrical and Electronic Eng., DOI:10.1002/tee.24150; Vol. 19, no. 11, pp. 1803–1816, [Online] (2024).

[5] EPS Works SL: Testing simpleRTK2B accuracy, <https://www.ardusimple.com/> (2026 年 2 月 20 閲覧)

[6] LightWare LiDAR Inc.: SF45/B MicroLiDAR scanner for obstacle detection, <https://support.lightware.co.za/sf45b/#/introduction> (2026 年 2 月 20 閲覧)



競輪の補助事業

この報告書は、競輪の補助により作成しました。

<https://jka-cycle.jp/>