ⓒオペレーションズ・リサーチ

ドローンを活用した建物の点検・維持管理技術

宮内　博之

建築ストックの増加により効率的な点検や維持管理の重要性が増しており，その解決方法の一つとしてドローンの活用が期待されている．本稿では建築研究所の研究課題である「RC 造建築物の変状・損傷の早期確認と鉄筋腐食の抑制技術等に関する研究」のテーマを中心として，建築分野におけるドローン技術の動向と建築物に活用する際のドローン飛行のルールと課題について説明する．またドローンを活用した実建物による実証実験事例，ならびにドローンを活用するうえで必要となるコスト，点検精度，自動化，履歴情報保存などの検討結果を踏まえ，まとめに産官学連携の活動を紹介する．

キーワード：ドローン，建築物，点検，維持管理

1. はじめに

総務省の平成 25 年住宅・土地統計調査によると，築 35 年を超える全国の住宅ストック総数は 1369 万戸を超え，毎年増加している．これより，建築物の健全性診断と長寿命化のための維持管理が喫緊の課題となっており，建築物の維持管理のために定期的な点検調査における効率化も求められている．

たとえば，建築物の健全性診断においては，建築基準法 12 条による定期検査報告などが義務づけられている．この定期調査（建築基準法第 12 条第 1 項）の建築物の外壁調査については，平成 20 年国土交通省告示第 282 号「建築物の定期調査報告における調査及び定期点検における点検の項目，方法並びに結果の判定基準並びに調査結果表を定める件」の調査方法などにより行っており，特に竣工から 10 年を経過した建築物については全面打診などの点検が求められている．しかし，調査者の手の届かない箇所では仮設足場の設置が必要になるため，建築物の所有者にとって費用負担が大きく，合理的な点検手法の整備が急務となっている．

これに関連する対応については，たとえば，平成 27～28 年度に国土交通省基準整備促進事業 T1 における「湿式外壁等の定期調査方法の合理化の検討」委員会 [1] の中で，国内におけるさまざまな既存剥離検知器・装置を活用して，外壁タイルの剥離の検知精度が検証され，ロボットの現場活用が検討された．

さらに，平成 27 年 4 月に首相官邸の屋上に無人航空機（以下，ドローンとする）が落下した事件以降，ドローンに関する法規制と適用が一気に早まった．それ以降空の産業革命と言われるドローン技術を建築物の点検調査にも活用する動きが現れ，いくつかの企業はドローンを用いた外壁点検の実証実験を行った．

みやうち　ひろゆき
国立研究開発法人建築研究所
〒 305–0802 茨城県つくば市立原 1
miyauchi@kenken.go.jp

以上の社会的背景により，筆者らは平成 28 年度から建築研究所において，「RC 造建築物の変状・損傷の早期確認と鉄筋腐食の抑制技術等に関する研究」の課題の中で，ドローンを活用した建築物の点検調査技術とドローンプラットフォームの構築について研究を開始した．さらに，平成 29 年度からは建築研究所が共同研究機関として国土交通省基準整備促進事業 T3「非接触方式による外壁調査の診断手法及び調査基準に関する検討」[2] に参画し，赤外線カメラなどを搭載したドローンの活用の検討を行っている．

本稿ではこれらドローン活用における黎明期での経験を通して，建築分野におけるドローン技術動向，建築研究所で実施しているドローン関連研究の事例を中心に紹介し，ドローンを用いた建物の維持保全に関わる現状と展望について報告する．

2. ドローン技術の動向と課題

2.1 ドローンの定義

ドローン (Drone) は遠隔操縦可能な比較的小型の自律型無人機を意味し，無人航空機（UAV: Unmanned Aerial Vehicle), 無人車両（UGV: Unmanned Ground Vehicle)，無人船舶（USV: Unmanned Surface Vehicle）などが含まれる．一方で，米国（連邦航空局）では無人化技術を適用した航空機と地上装置を含むシステムとして，無人飛行システム（UAS: Unmanned Aircraft System）が一般的に使用されている．以上より，正式な用語としては無人航空機が適切であるが，日本ではドローンの用語が定着しており，本報告でも広義

 Copyright ⓒ by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

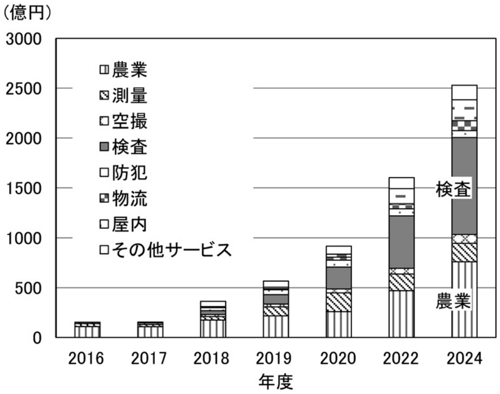


図 1　ドローンサービス市場の分野別市場規模 [3]

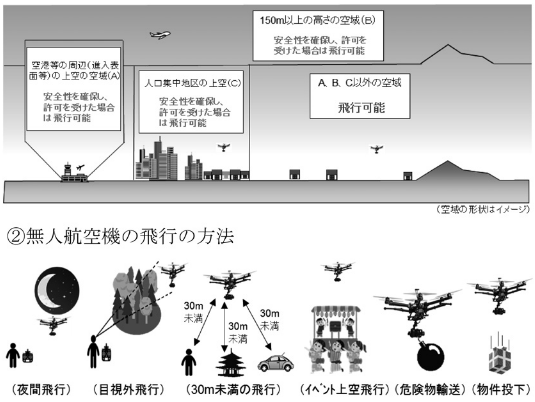


図 2　無人航空機に係る航空法改正 [4]

の用語としてドローンを使用する．このドローンの特徴として，自律飛行を可能とするフライトコントローラを搭載しているため，高い操縦技能を持たなくても簡単にドローンを飛行させることができる．このフライトコントローラは，内蔵するジャイロ，加速度，コンパス，気圧などの各種センサーから情報を得て，機体の姿勢を監視し，モーターの回転や進行方向を制御できる装置であり，操縦者がドローンを飛行させたい場所まで安定的にドローンを移動させることが可能である．

これより，ドローンはこれまでのラジコンとは異なり，誰でも簡単に操縦が可能となり，さまざまな分野で活用されることとなった．

2.2　ドローンの市場

インプレス総合研究所による調査の結果 [3] では，図 1 に示すように 2018 年のドローンサービス市場において農業，測量，空撮，検査，防犯，物流などのサービス分野での活用の拡大が進んでおり，2024 年にはインフラ点検などに関わる検査分野が，農業分野の市場を上回ると予想されている．しかし，建築物を対象とした点検調査などの市場については安全面の観点から未知数であると考えられる．

2.3　ドローン飛行時のルール

図 2 に無人航空機の飛行に係る法律とルールを示す．「航空機の航行の安全に影響を及ぼすおそれがあるものとして国土交通省令で定める地域」（法 132 条 1 号）および「国土交通省令で定める人又は家屋の密集している地域の上空」（法 132 条 2 号）で無人航空機を飛行させようとする場合，国土交通大臣の許可が必要である [4]．特に，建築分野において関連性のある「人口集中地区 (DID) の上空」は，自らが所有する土地の上空で無人航空機を飛行させる場合であっても原則禁止である．

また「無人航空機の飛行の方法」については，上記「飛

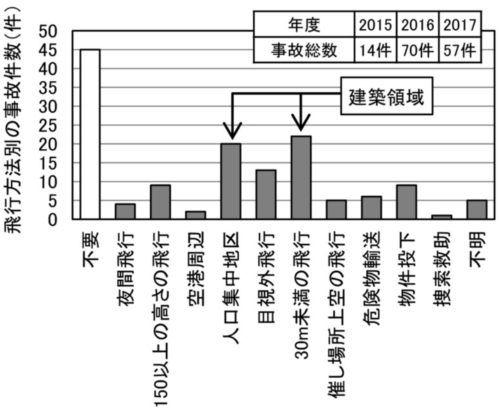


図 3　国土交通省へ情報提供があった無人航空機による事故（2017.12.8 時点）

行の禁止区域」であるかどうかにかかわらず，①夜間飛行，②目視外飛行，③対象物から 30 m 未満の飛行，④イベント上空飛行，⑤危険物輸送，⑥物件落下，について関連するドローン飛行の場合でも，国土交通大臣の承認を受ける必要がある．特に，建築物調査では，人（第三者）又は物件（第三者の建物）に対して 30 m 未満での飛行となる場合，飛行許可を受けなければならない．

さらに建築物周辺に道路があり，一般交通に著しい影響を与える場合には，道路交通法も適用され，警察署長の許可を受ける必要がある．空撮するドローンがほかの建物の上空を飛行した場合には民法も適用される．

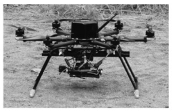
2.4　ドローンの活用における課題

建築分野へのドローン活用に際しては，①ドローンの衝突による被害と②ドローンによる人に関わる課題に分けて十分な対策を施すことが重要となる．

①のドローンの衝突に関する情報として，図 3 に国土交通省へ情報提供があったドローンによる事故件数を飛行申請ごとに分類した結果を示す．国交省の飛行

 Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

表 1　使用したドローン概要

名称	Phantom4※1	MS-06LA※2	MS-06LLA※2
製造会社	DJI社	(株)自律制御システム研究所	
飛行形態	GPS	GPS	非GPS(SLAM)
重量(kg)	1.38	4.8	8.5
最大直径(mm)	350	1010	1420
飛行時間(分)	約28分	約15分	約15分
カメラ	専用カメラ	外部設置カメラ(ソニー α6000)	
画素	1240万画素	2030万画素	
解像度	4000×3000	6000×3376	
外観			

※ 1：ドローン撮影協力：中島圭二 氏（NPO 法人コンクリート技術支援機構）
※ 2：ドローン機体および撮影協力：三信建材工業（株）

図 4　ドローンによる建物劣化調査

申請不要である場所での事故が 45 件に対し，飛行申請を必要とした事故は 96 件となりその比は 2 倍以上であった．特に，建築物の調査時に想定される人口集中地区および 30 m 未満の飛行時の事故が多く，都市・建築領域でドローンを使用する際には十分な安全対策が必要となる．これら事故の特徴としては，操作スキル不足とヒューマンエラー，ドローンのバッテリー切れ，気象要因（雨，強風など），機体異常（モーター，アンプの故障など），通信ロストなどが一つもしくは複数重なって発生していると考えられる．

②ドローンによる人に関わる課題については，ドローンによる撮影映像などは個人情報保護法に関わるプライバシー侵害になる恐れがある．ドローン飛行時の騒音などの問題もあり，住民への事前説明などの十分な配慮が必要となる．

3.　ドローンによる点検調査の実証実験

本節ではドローンを活用して実建物を点検調査した場合に得られる情報について紹介する．

図 5　3D 点群モデル（ベランダまわりと上裏）

3.1　ドローンによる RC 造建物の劣化調査事例

図 4 に示すように，4 階建て RC 造集合住宅（解体物件，築 40 年以上）を利用し，建物内に居住者がいない状況で試験を実施した．調査に使用したドローンは表 1 に示す 3 機である．実験方法について，ドローンによる建物劣化状況の撮影について南北面の外壁は MS-06LLA により，屋根面は MS-06LA により行った．撮影ではデジタルカメラにより間隔 1 ショット/1 秒で行った．2D 画像から 3D 画像へ変換するソフトについては，Photo Scan ソフトを使用した．

図 5 にドローンにより撮影した画像を 3D 点群画像に変換した結果を示す．ベランダ手摺部分の腐食状態を確認することができるが，詳細な腐食状況を定量化するためには点群の密度を大きくする必要がある．ベランダ上裏部分については，カメラ撮影角度と日陰の影響で撮影が難しい場所であるため，カメラの撮影方法の検討が必要であると考えられた．

図 6 に撮影した建物南面の画像から，オルソ画像（正射投影画像）に変換してひび割れ部を抽出したものを示す．図 6 中にひび割れ部を線により示し，ひび割れ長さと幅を数値として記載した．目視確認できない場所の

Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

図 6　南面外壁のひび割れ図（オルソ画像）

図 7　端島 30 号棟全景

ひび割れの分布状況を図面化し，ドローンに搭載したカメラにより簡易的に劣化状況を確認することができた．しかし，ひび割れ幅が小さい場合は，色差の影響や撮影画像の解像度により検出できていない場合もあった．

3.2　端島（軍艦島）における RC 造建築物の調査

ドローンにより長崎市端島（軍艦島）建物の劣化状況の撮影を実施した．その状況を図 7 および図 8 に示す．図 7 に示すように建物 30 号棟は大破状態であり，外壁だけでなく，床も抜け落ちている箇所が多く見られた．図 8 に 3 号棟の外壁の損傷状況を示す．外壁が崩壊している面は崖となっているため，足場を組むことが難しく，近づくことができない．また，屋上端部が崩落しているため，屋上からぶら下がって外壁破損個所を調査することもできない．以上のように調査場所に接近できない場合はドローンの活用は効果的であり，補修計画などを判断するためのツールとしても利用できる．

4.　ドローンによる点検調査に求められる技術

本節では，ドローンを活用するうえで検討すべき項目について各実証実験により比較検討を行った．

図 8　外壁・パラペット破損の状況（端島 3 号棟）

図 9　実験条件

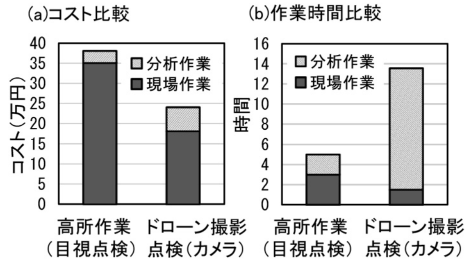


図 10　高所作業とドローン撮影点検におけるコストと時間の比較

4.1　ドローンによる点検調査コストと調査時間

ドローンの活用の優位性の一つは，点検の省力化に関わるコストと時間の削減にあると考えられる．そこで，建築研究所内に設置された 6 階建て実験木造住宅を利用し，図 9 に示す高所点検における比較として高所作業車による点検とドローンによる点検の比較を行った．図 10 に高所作業車を利用した点検とドローンによる点検におけるコストと時間を比較した場合の結果を示す．ドローン撮影による点検費用は高所作業点検より低価格で実施することができた．一方で，ドローンで写真撮影後の画像処理のコストと時間については，反対に増加することになり，特に分析作業に多くの時間を要する．これより，ドローンの点検調査で優位となるのは現場での活用であると考えられる．一方で撮影後の画像処理については自動化するなどの対策が必

 Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

表 2　分解能 1 mm/px を満足する撮影距離と範囲の比較

性能	1億画素カメラ	2000万画素カメラ
距離	32.6 m	13.7 m
撮影範囲	縦8.7 m×横11.6 m	縦5.3 m×横4.0 m
視野角	15.2°	16.4°

図 11　ドローンによる撮影状況

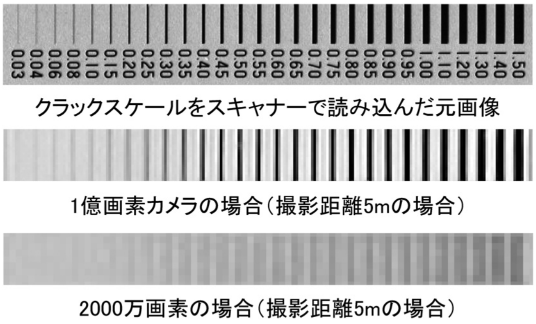


図 12　撮影した画像の視認性の検討

図 13　屋根面に設置したタイル張り試験体におけるドローンによる調査

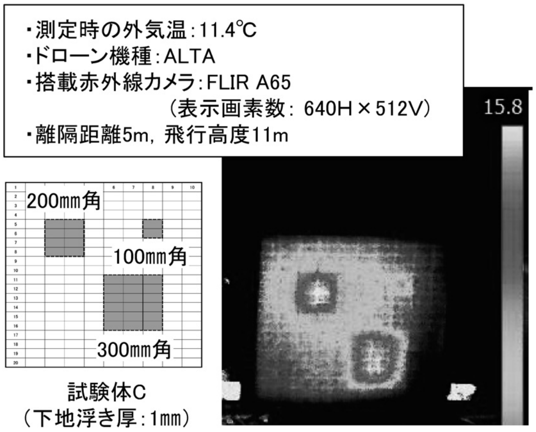


図 14　ドローンに搭載した赤外線カメラによるタイル張り試験体の欠陥部の抽出例

要となると考えられる．

4.2　点検時の変状・劣化の視認性

ドローンを活用した点検調査では，既存点検と同様に点検時に要求される精度を知ったうえで取り組むことが前提となる．ここでは，汎用的に使用されている 2000 万画素のカメラと，現在の解像度の上限値である 1 億画素のカメラを用いて，建物および建築材料の劣化を対象としたドローンによる撮影実験を行った．本研究で用いたカメラの性能値を表 2 に示す．1 億画素カメラは 2000 万画素カメラと比較した場合，理論上の分解能である 1 mm/px を満足する撮影距離は 2 倍以上となり，1 枚の撮影面積は 4.7 倍大きい．

次に外壁にクラックスケールを貼り付け，図 11 に示すドローンの飛行により撮影した場合の両カメラの視認性の結果を図 12 に示す．撮影距離 5 m において 2000 万画素は 1.5 mm 幅を目視することは難しい．1 億画素ではクラックスケールの元画像よりは幅の端部が不鮮明になるが，幅 0.25 mm 程度までは目視確認が可能である．

4.3　赤外線カメラによる外壁タイル欠陥部の検出

建築研究所にて，図 13 に示すタイル張り試験体に欠陥部を作製し，赤外線カメラを搭載したドローンによる空中から撮影した場合の実証実験をした．その結果，図 14 右の赤外線画像で示すタイル張り試験体の欠陥部の検出例に示すように，地上と同じ水準で試験体を赤外線カメラで撮影でき，また裏面の剥離を検出することが可能であることがわかった．ただし，赤外線カメラの適用においては環境条件，使用者側の技能などを総合的に検討する必要があるため，適用範囲を決めておくことが重要となる．

4.4　ドローンの自動飛行による点検調査

ドローンの操縦においてヒューマンエラーへの対策や省力化点検への寄与を考慮した場合，ドローンの自動飛行による点検技術は有力な手段となる．このような背景から国土交通省住宅・建築物技術高度化事業の活動の一環として，点検調査のための自律制御型ドローンの開発と，図 15 に示すように搭載カメラによる効

Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

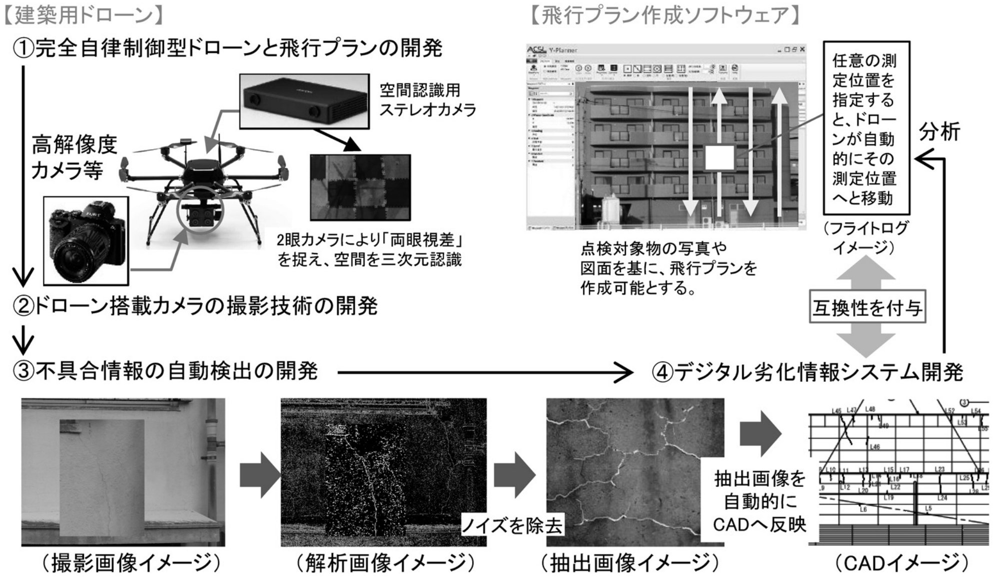


図 15　ドローンを活用した建築物の自動点検調査システム

率的点検調査方法の検討を行っている．

具体的には，仮想空間上で飛行プランを作成し，空間認識用のステレオカメラと高さ方向を認識する単眼カメラにより，建物点検に活用可能な完全自律制御型のドローンを開発している．そしてこのドローンに搭載されたカメラにより不具合部分を自動抽出し，その画像データを CAD などへ反映，および飛行フライトログなどにより PC 上で再度建物点検の情報を確認できるシステムを提案している．

4.5　変状・劣化情報の保存と履歴情報の活用

ドローンによって，建物の変状・劣化情報の記録を定期的に測定し，長期的に保管し，建物維持管理に役立てることも可能である．たとえば，図 16 に示すようにドローンで撮影した屋根面の情報を 3 次元モデルに変換し，ドレン廻りの状況，屋根面のひび割れや補修状況などの履歴をデータとして保存して，次の修繕に活用することも可能である．

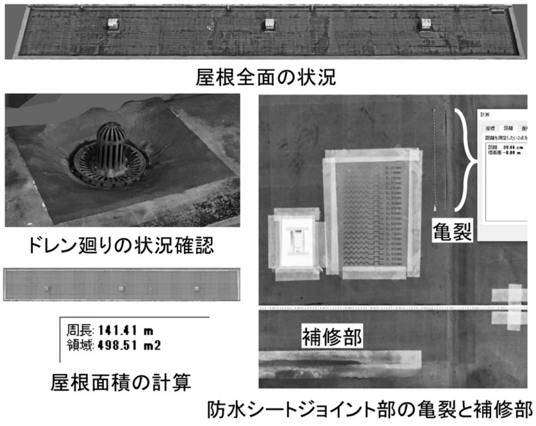


図 16　3 次元モデルと劣化情報の抽出（1 億画素）

5.　まとめ

建築物を対象としたドローンの活用はまだ検討が始まった段階であり，社会実装するためには産官学の関係者が協力して，建築分野で活用可能なドローンプラットフォームを作り上げることが必要不可欠である．これより，筆者は下記の産官学領域における活動を行っている．

学術分野では，2016 年度に日本建築学会にて設置した「UAV を活用した建築保全技術開発 WG」を格上げして，2018 年度からドローン技術活用小委員会を設置し，建物の外壁調査点検などへのドローンの活用を主な目的とし，技術情報の収集，ならびに現場での実証実験とデータの収集・分析方法の検討などを行っている．

また産業分野では，ドローン技術を安全に普及させるために，建築分野におけるドローン技術者の育成，技術支援，標準化と評価を目的として，筆者らは 2017 年 9 月に一般社団法人 日本建築ドローン協会 (JADA) を設立した．現在は，建物の施工管理・点検調査などでドローンを活用するための安全教育用マニュアルの作成をしている．また，建築とドローン分野の関係者が技術交流するための場として，建築ドローン利活用研究会を定期的に開催している．

以上のように，ドローン技術により人，組織，技術，

 Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

データなどさまざまなものをつなげ，新たな付加価値の創出や社会課題の解決がもたらされる産業社会を目指す「コネクテッド・インダストリーズ」を実現し，ドローンが安全かつ革新的な技術として社会実装できるように，微力ながら貢献していきたい．

参考文献

[1] 全国タイル工業組合，“平成 28 年度建築基準整備促進事業 T1. 湿式外壁等の定期調査方法の合理化の検討，” http://www.mlit.go.jp/common/001183683.pdf（2018 年 7 月 27 日閲覧）

[2] 一般財団法人 日本建築防災協会，“平成 29 年度建築基準整備促進事業　T3：非接触方式による外壁調査の診断手法及び調査基準に関する検討，” http://www.mlit.go.jp/common/001234645.pdf（2018 年 7 月 27 日閲覧）

[3] インプレス総合研究所（編著），春原久徳，小池良次，『ドローンビジネス調査報告書 2018』，2018.

[4] 国土交通省，“無人航空機（ドローン・ラジコン機等）の飛行ルール，” http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html（2018 年 7 月 27 日閲覧）

Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.