

# 建築分野におけるドローン技術の動向と展望

## ～ドローン活用における安全教育と技術の高度化～

材料研究グループ 主任研究員 宮内 博之

### 目次

- I はじめに
  - II ドローンに係わるルールと飛行レベル
    - 1) ドローンの市場と飛行ルール
    - 2) ドローンの飛行レベルと建築分野との関係
  - III 建築物におけるドローン活用の課題とその対応
    - 1) 建築分野におけるドローンの活用と水準
    - 2) 国土交通省基準整備促進事業 T3 におけるドローンの活用
    - 3) 学術分野（日本建築学会）におけるドローン活用の促進
    - 4) ドローンの活用における課題と産業界の取り組み
  - IV ドローンを活用した建築物の調査・診断技術
    - 1) ドローン活用における点検調査時のコストと時間
    - 2) 変状と劣化の定量化：高解像度カメラの適用
    - 3) 外壁タイル貼りの剥離検出：赤外線カメラの適用
    - 4) ドローンを活用した建築物の自動点検調査システムの開発
    - 5) ドローンで取得したデータの記録と分析への活用
  - V ドローンの新しい活用の可能性
  - VI おわりに
- 参考文献

### I はじめに

建築物の維持管理に係わる調査技術において、ドローンの活用が期待されている。これより、著者は平成28年度より建築研究所指定課題「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の研究」において、ドローン関連技術の技術開発を実施した。しかし、ドローン技術を建築物の調査等に適用する際には、ニーズに対応した技術開発と開発スピードが要求され、さらに建築分野以外の技術動向の把握や融合技術の開発、そして産官学連携等、建築分野において高度な技術開発を促進するためのドローンプラットフォームを開発することが必要不可欠となった。

これより、本稿では建築研究所の研究テーマを軸として、ドローン関連の動向、ドローンに係わる省力化点検技術や自動点検技術の開発、調査精度の検証、国土交通省基準整備促進事業に係わる研究活動の成果について報告する。また、学術分野では日本建築学会にてドローン技術を活用するための委員会の設置と、情報を提供するための建築ドローンシンポジウムを開催した。さらに産業分野においては、ドローンを安全に活用するための人材育成・技術支援・標準化を目指して、(一社)日本建築ドローン協会を設立し、ドローンの安全運用に関する活動について報告する。最後に、現在実施している災害等を含めた新領域の研究活動についても紹介する。

## II ドローンに係わるルールと飛行レベル

### 1) ドローンの市場と飛行ルール

インプレス総合研究所による調査の結果<sup>1)</sup>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、物流等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等に係る検査分野が、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等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。

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)及び「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、地方航空局長の許可が必要である<sup>2)</sup>。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

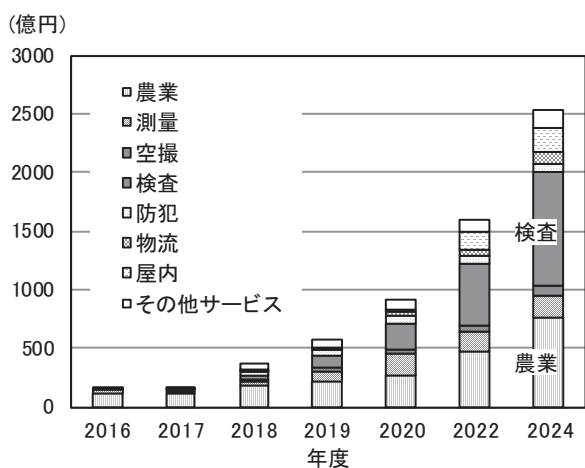
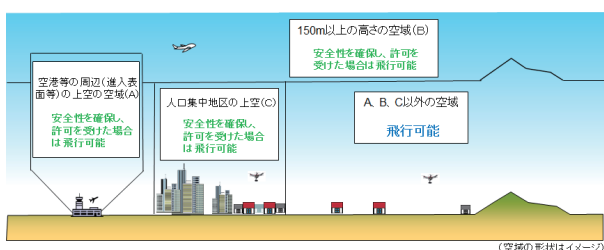


図1 ドローンサービス市場の分野別市場規模<sup>1)</sup>

#### ①無人航空機の飛行の許可が必要となる空域



#### ②無人航空機の飛行の方法

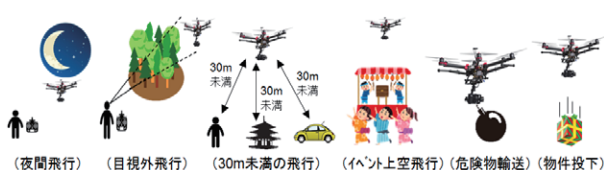


図2 無人航空機に係る航空法改正<sup>2)</sup>

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「飛行の禁止区域」であるかどうかに関わらず、①夜間飛行、②目視外飛行、③対象物から30m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、地方航空局長の承認を受ける必要がある。特に、建築物の点検・調査では、通常、対象物(人、建物)に対して30m未満での飛行となるため、一般的に承認を受ける飛行申請手続きが必要となる。

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他の建物の上空を飛行した場合には民法も適用される。

### 2) ドローンの飛行レベルと建築分野との関係

2017年度に経済産業省が「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」<sup>3)</sup>に掲げた空の産業革命に向けたロードマップが参考となる。表1に示すように、小型無人機の飛行レベルはレベル1からレベル4(最高難易度)まで区分されている。また、各レベルの飛行による利活用は、例えば、表2のようなものが挙げられる。現在はレベル1、2の飛行による利活用が主流となっているが、2017年の目標であった目視内飛行で自動航行による空中写真測量、ソーラーパネル点検等のレベル2から、2018年の目標である離島や山間部等における目視外飛行のレベル3を達成するため、物流分野へのドローンの活用が始まっている。

ここで、レベル1からレベル4において、建築分野で多く活用される領域を示した関係を図3(図中に建築分野でのドローン活用領域を記載)に示す。図3中の横軸は、飛行しているドローンを目

表1 各レベルの飛行による利活用の具体例<sup>3)</sup>

レベル1	目視内での操縦飛行
レベル2	目視内飛行(操縦なし)
レベル3	無人地帯での目視外飛行(補助者の配置なし)
レベル4	有人地帯(第三者上空)での目視外飛行(補助者の配置なし)

表2 各レベルの飛行による利活用の具体例<sup>3)</sup>

レベル1	レベル2
<ul style="list-style-type: none"> <li>農業散布</li> <li>映像コンテンツのための空撮</li> <li>橋梁、送電線等のインフラ点検等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>空中写真測量</li> <li>ソーラーパネル等の設備の点検等</li> </ul>
レベル3	レベル4
<ul style="list-style-type: none"> <li>離島や山間部への荷物配送</li> <li>被災状況の調査、行方不明者の捜索</li> <li>長大なインフラの点検</li> <li>河川測量等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>都市部の物流、警備</li> <li>発災直後の救助、避難誘導、消火活動の支援</li> <li>都市部のインフラ点検等</li> </ul>

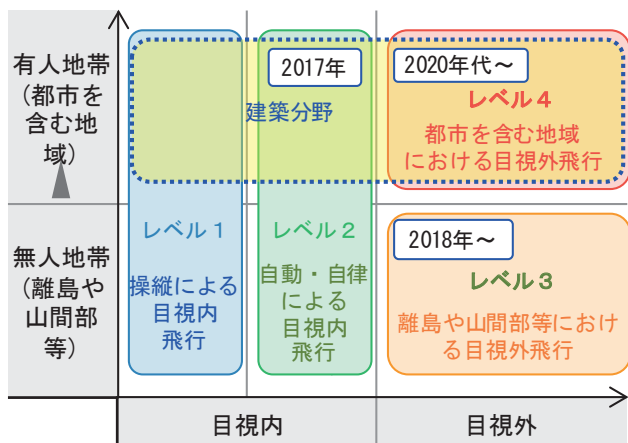


図3 飛行レベルから見たドローンの活用範囲<sup>4)</sup>

表3 日本建築学会大会学術講演梗概集における「ドローン・UAV・無人航空機」をキーワードにした研究テーマ

年度	建築分野における活用							合計数
	点検	都市・地域	災害	環境測定	工事	文化遺産	輸送	
2012	0	0	0	0	0	1	0	1
2015	0	3 (2)	0	0	0	0	0	3 (2)
2016	3 (2)	0	0	0	1	0	0	4 (3)
2017	6 (4)	1	3 (2)	3 (1)	1	0	1	15 (10)
合計	9 (6)	4 (3)	3 (2)	3 (1)	2	1	1	23 (16)

※数字：論文数，( ) 各年度で同一グループを(1)とした場合

表4 ドローンを活用した技術水準

点検水準	ドローンの適用水準
1次調査	非接触：俯瞰的調査（カメラ撮影）
2次調査	非接触：詳細調査（高解像度・赤外線カメラ等による測定）
	近接・接触調査（打音検査等）
3次調査	接触調査（削孔等）

視で確認可能かの判断を基準に、目視内と目視外の二つに区分している。また縦軸はドローンの墜落に対する危険性を配慮し、有人地帯と無人地帯での飛行に区分している。レベル1は、例えば目視内飛行でマニュアル操縦による一戸建ての屋根のような狭い屋根面積での点検、レベル2は目視内飛行で自動飛行を要するような大面積の屋根点検や壁面点検などが該当する。レベル4は目視

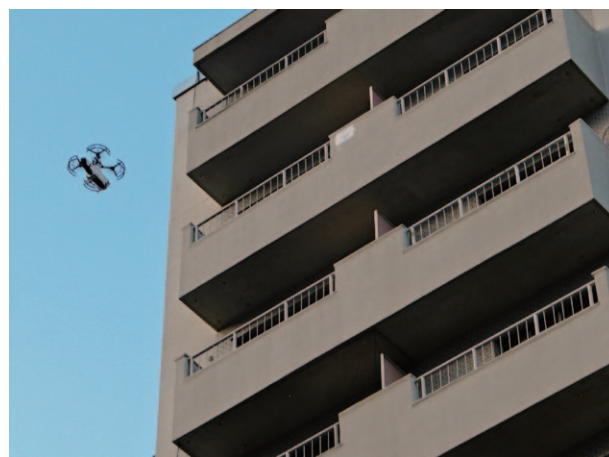


図4 ドローンによる外壁点検の事例

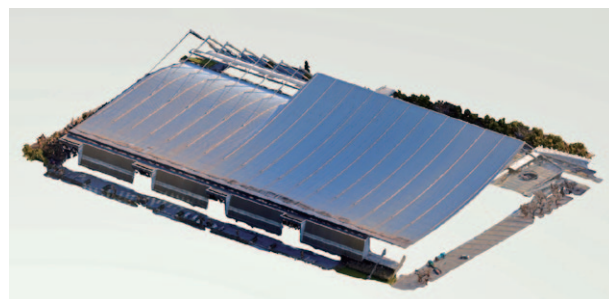


図5 ドローン飛行の撮影により取得した屋根3次元モデル

外が想定される超高層建物の点検、都市の物流・警備、災害に係わる活用などが考えられる。

なお、2020年代には都市を含む地域における目視外飛行となるレベル4の段階に向かう。これは、建築分野においても人口集中地区でのドローンの活用を想定した社会基盤作りの準備をしておく必要があり、特に第三者に対する安全性の確保に関するルールの策定、及び第三者への危害を抑制する機能及び性能を有するドローンなどの開発が求められる。

### III 建築物におけるドローン活用の課題とその対応

#### 1) 建築分野におけるドローンの活用と水準

表3に日本建築学会大会学術講演梗概集で発表されたドローンに関わる活用方法を示す。2012年度に最初の論文が投稿され、2015年度から投稿数が増加している。これは2015年4月に首相官邸無人機墜落事故が発端となり、メディアでドローンが多く取り上げられたことも関係していると思われる。また、2017年度までの論文の投稿総数では、点検、都市・地域、災害、環境測定、工事、文化遺産、輸送の順にドローンが活用されている。特に点検におけるド





図6 第1回 AIJ・建築ドローンシンポジウム  
「建築×ドローン2017」

ローンの活用が増えている。点検における部位としては、足場を要するような高層建物外壁などを対象としていると考えられた。これら建物点検調査については、一般的に表4に示すように点検の水準に応じて1次から3次調査に分類されている。現在のドローン技術や安全性を考慮した場合、1次調査もしくは2次調査の非接触方式での使い方が多い。例えば図4に示すような可視カメラや赤外線カメラを搭載したドローンによる建物外壁点検、あるいは図5に示す屋根の劣化や変状を俯瞰的、もしくは3次元画像等で取得する方法などが適用されている。

## 2) 国土交通省基準整備促進事業T3におけるドローンの活用

国土交通省の建築分野における最初のドローンの活用の検討は、H29年度・国土交通省建築基準整備促進事業にて行われた。その実施の背景は以下の通りである。定期調査（建築基準法第12条）における建築物の外壁調査は、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調査結果表を定める件」に定める調査方法等により実施している。特に竣工から10年を経過した建築物については、全面打診等による調査および報告が求められている。全面打診による調査では、通常、仮設足場等の設置が必要になる場合が多く、建築物の所有者にとっては費用負担が大きい。そのため、仮設足場等の設置が不要な調査方法の一つとして赤外線装置法を用いた外壁調査が行われるようになってきているが、中・高層建築物では上階の調査が困難である。また、赤外線装置法には測定が困難とされている適用限界があるにもかかわらず、誤った診断が行われている等の問題も指摘されている。

これより、国土交通省建築基準整備促進事業T3<sup>5)</sup>において、「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」の研究課題により平成29、30年度において検討を行った。本課題

表5 第2回AIJ・建築ドローンシンポジウムプログラム

1. 主旨説明	国立研究開発法人 建築研究所 宮内博之
2. 【動向】建築分野におけるドローン技術の動向と展望	国立研究開発法人 建築研究所 宮内博之
3. 【基準】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	国立研究開発法人 建築研究所 眞方山美徳
4. 【効率】ドローンによる建物点検へのアクセシビリティの検討	東京理科大学 兼松学
5. 【省力】ドローンを活用した建物点検の効率化・省力化の検討	西武建設(株) 二村憲太郎
6. 【自動】ドローンを活用した建築物の自動点検調査システムの開発	三信建材工業(株) 石田晃啓
7. 【打音】ドローンを用いた外壁タイル仕上げの打音検査	名古屋工業大大学院 河辺伸二 (特非) コンクリート技術支援機構 渡辺正雄、中島圭二
8. 【赤外線】赤外線カメラを搭載したドローンによる建物検査	日本ERI(株) 大場喜和
9. 【音響】非接触音響探査法による外壁調査の効率性向上に関する検討	桐蔭横浜大学 杉本恒美
10. 【構造】災害における建築ドローン技術の活用可能性	東京大学 楠浩一
11. まとめ	国立研究開発法人 建築研究所 鹿毛忠継

では、外壁調査の実績のある赤外線装置法を中心に非接触方式による外壁調査の診断精度等に関する整理・検証を行った上で、ドローンの活用を含めた効果的かつ確実な診断手法、及び調査を行う際の適用限界等の技術的な検討を行い、非接触方式による外壁調査方法の技術資料を取りまとめた。

## 3) 学術分野（日本建築学会）におけるドローン活用の促進

ドローン技術は様々な分野で活用が期待されているところであるが、これら技術を安全な形で社会実装するためには、建築内外の専門家の協力と産官学連携が必要不可欠となる。このような社会的・技術的背景から、2016年4月に（一社）日本建築学会 耐久・保全運営委員会の傘下に「UAVを活用した建築保全技術開発WG」（主査：宮内博之、幹事：兼松学・東京理科大学教授）を設置した。本WGでは建物の外壁調査点検等へのドローンの活用を主な目的とし、技術情報の収集、現場での実証実験とデータの収集・分析方法の検討等を行った。さらに、建築分野全体におけるドローン技術の普及を目指して、本シンポジウムを企画した日本建築学会「UAVを活用した建築保全技術開発WG」では、本WGの活動の一環として、

2017年5月に第1回建築ドローンシンポジウムを開催した(図6)。さらに2018年5月に開催した第2回建築ドローンシンポジウムでは、建築分野でドローンの活用が期待されている建築物の点検調査をキーワードとした(表5)。具体的には、①建築分野及び国交省基準関連の動向、②効率化・省力化点検に関わるドローンによる建物へのアクセシビリティ、コスト・調査時間の影響、ドローンによる自動化技術、③建物外壁点検の調査方法に関わる打音検査、赤外線装置による検査、音響深査法による検査について、最新技術の情報を提供した。また、日本建築学会「UAVを活用した建築保全技術開発WG」は、平成30年度から「ドローン技術活用小委員会」として活動を継続し、さらに日本建築学会災害委員会「災害調査におけるUAV利活用の可能性検討WG」と連携することを踏まえて、本プログラムの最後には災害震災時における建築ドローン技術の活用の現状について報告した。

#### 4) ドローンの活用における課題と産業界の取り組み

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7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毎に分類した結果を示す。国交省の飛行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及び30m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には十分な安全対策が必要となる。また事故の特徴として、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、強風等)、機体異常(モーター、アンプの故障等)、通信ロスト等が一つもしくは複数重なって発生している。

また、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等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等の問題もあり、住民への事前説明等の十分な配慮が必要となる。

前述の航空法に関する建築側の対応、建築分野でのドローン活用の普及、そしてドローンの墜落に対する対策等に関しては、産官学連携を図って共通認識を持って実施していくことが重要となる。そこで、2017年9月に一般社団法人 日本建築ドローン協会(略称: JADA)を設立し、建築分野の各種業務においてドローン技術を活用できる人材の育成、及び技術支援、標準化等の事業を行うことにより、安全・安心かつ持続可能な社会の実現のために貢献することを目的に活動を開始した。特に、建築物の点検等に係るドローン

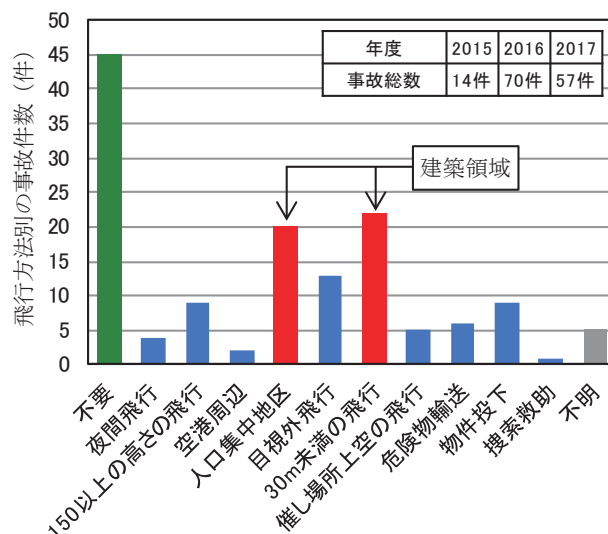


図7 国土交通省へ情報提供があった無人航空機による事故(2017.12.8時点)

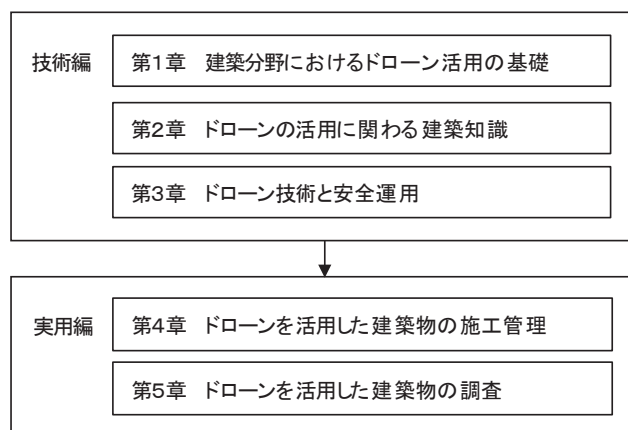


図8 建築物へのドローン活用のための安全マニュアルの構成

の活用について、安全運用に関する取り組みを強化している。

具体的には、建築及びドローン分野における関連団体関係者の意見を頂きながら、建築分野でドローンを活用可能な技術者の育成を目的とした「建築物へのドローン活用のための安全マニュアル」<sup>9)</sup>を作成した(図8)。本マニュアルは、ドローンの活用に関する基礎知識、ドローン技術と安全運用、建築物の施工管理・点検調査におけるドローンの安全活用を解説している。さらに、本マニュアルを活用し、「建築ドローン安全教育講習会」を企画し、2017年9月14日に第1回講習会を開催した(図9、図10)。本講習会は、建築分野におけるドローン利用の大前提となる安全をテーマとした国内初の講習会であり、ドローンの飛行に携わる者のみならず、建築分野のドローン利用に関わる全ての事業者が共通して知っておくべき基礎知識を提供している。



図9 JADA建築ドローン安全教育講習会の状況

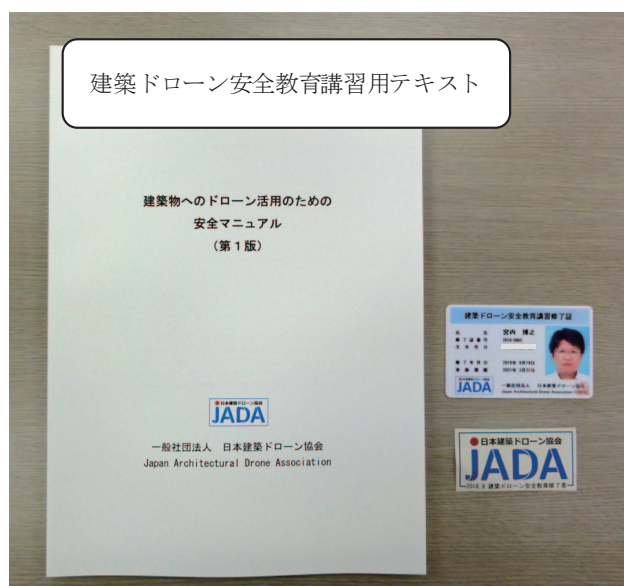


図10 JADA講習会用テキストと修了証



①高所作業(目視点検) ②地上撮影点検(カメラ撮影)



③ドローン撮影点検(カメラ撮影)

図11 実験条件

表6 既存点検とドローンによる点検の比較

条件	既存点検		③ドローン撮影点検
	①高所作業点検	②地上撮影点検	
人数	4名	2名	3名
時間	9～13時	11～14時	11～14時
点検時間	2時間	1時間	0.5時間
準備時間	1時間	0.5時間	1時間
機材	高所作業車1台(自走式19m級)	カメラ(解像度1,800万画素)	ドローン, カメラ(解像度2,430万画素)
制限事項	なし	最大仰角45度	GPSの受信, 風, 接触

#### IV ドローンを活用した建築物の調査・診断技術

建築物の点検においてドローンを活用する上で必要となる条件について、点検調査時のコストと時間、カメラの点検精度、自動点検技術、取得データの記録と分析に分類して検討を試みた。

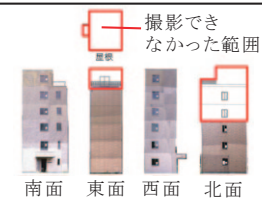
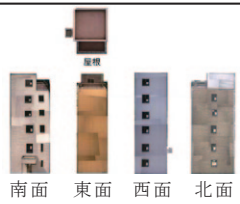

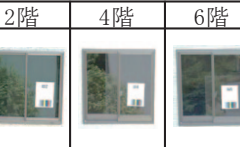
##### 1) ドローン活用における点検調査時のコストと時間

既存の建物点検に対する優位性を示す判断基準として、点検から分析に至るコストと時間、そして地上と同じ条件で点検できる水準かどうかを挙げられる。これより、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11に示す既存点検(①高所作業車を利用した点検、②地上に三脚を立ててカメラで撮影する点検)と③ドローンによる点検による実験により、上記の各項目の評価を行った。各点検において調査人数及び時間・機材・制限事項について比較した結果を表6に示す。地上点検は調査人数が2名と最も少なく、調査時間も短い。しかし、最大仰角(見え方)の制限がある。この見え方の影響について、②地上による撮影と③ドロー

ンによる撮影を比較した結果を表7に示す。地上からの可視カメラによる撮影では屋根面の撮影は当然できない。また地上の撮影場所の範囲が狭く撮影対象物までの十分な距離が確保できない場合、仰角の影響により建物上部の外壁撮影も難しくなる。一方、ドローンであれば対象物との安全な飛行距離を確保できれば地上で目視点検する場合と同程度に撮影が可能となる。さらに表7中の窓枠の見え方の写真が示すように、②地上による撮影では階数が高くなるほど窓枠の歪みが大きくなるが、③ドローンによる撮影では、対象物の画像サイズや画質を一定に保つことができるため、現場及び撮影後の画像の分析がし易くなる。これはシーリング目地のように幅の小さい対象物については、高所での視認性は圧倒的に悪くなるため、ドローンによる点検の優位性が高くなると考えられる。



表7 ドローンによる建築物の視認性

比較項目	②地上から撮影	③ドローンによる撮影
撮影範囲(※)	 撮影できなかった範囲 南面 東面 西面 北面	 南面 東面 西面 北面
撮影範囲	81% (撮影距離: 7.5~17m)	100% (撮影距離: 10m)
窓枠の見え方		
カメラ諸元	カメラ: EOS60D(Cannon)	カメラ: α6000(Sony)

※歪んだ画像は専用の画像ソフトで調整(オルソ変換)

表8 使用したカメラとドローンの仕様

分類	1億画素カメラ	2000万画素カメラ
カメラ・レンズ	Phase One iXU1000 ・画素数: 11608 x 8708 (1.01億画素) ・センササイズ: 53.4 x 40mm ・レンズ: Schneider Kreuznach 55mm F2.8、又は150mm F3.5 LS-FSレンズ	DJI Zenmuse X5S ・画素数: 5280 x 3956 (2088万画素) ・センササイズ: 17.3 x 13mm ・レンズ: オリンパス OLYMPUS M.ZUIKO DIGITAL 17mm F1.8
ドローン	DJI M600 Pro	DJI Inspire 2

表9 分解能1mm/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	32.6m	13.7m
撮影範囲	縦8.7m×横11.6m	縦5.3m×横4.0m
視野角	15.2°	16.4°

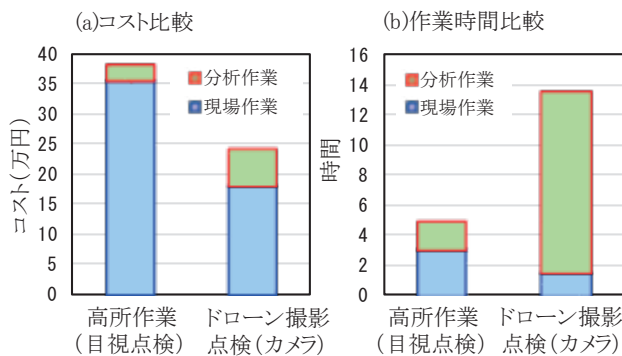


図12 高所作業とドローン撮影点検におけるコストと時間の比較

また、高所における点検において、①高所作業車を利用した点検と③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図12に示す。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。この結果は、ドローンによる点検では現場で対応することが効率的であり、撮影後の画像処理については撮影画像の前処理を簡便化し、自動化処理などの技術を取り入れる必要があることを示唆している。

## 2) 変状と劣化の定量化: 高解像度カメラの適用

建物点検に適用できる最も重要な判断基準は、要求条件に応じた点検精度である。ここで現状のドローンを活用した点検の適用範囲を考えると、俯瞰的に劣化等を撮影する1次調査、及び高解像度カメラや赤外線カメラを利用して定量化する2次調査が対象に入る。



図13 ドローンによる撮影状況

そこで汎用的に使用されている2000万画素のカメラと、解像度の上限値である1億画素のカメラを用いて、建物及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とドローンの仕様を表8に、カメラの性能値を表9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1mm/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倍大きいメリットがある。

次に外壁にクラックスケールを貼り付け、図13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14に示す。撮影距離5mにおいて2000万画素は1.5mm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0.25mm程度までは目視確認が可能である。さらに撮影距離5、10、15mの3条件について、クラックスケール画像を2値化処理し、最も厳しい条件下での視認性の比較をした結果を図15に示す。2000万画素は画素数の測定が不能となった。1億画素では撮影距離5mでは0.2~0.7mm、距離10mでは

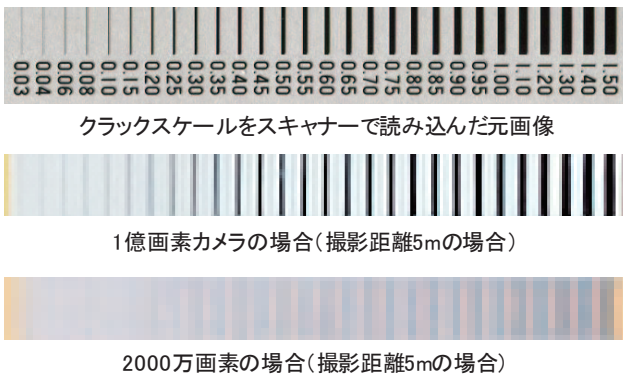


図14 撮影した画像の視認性の検討

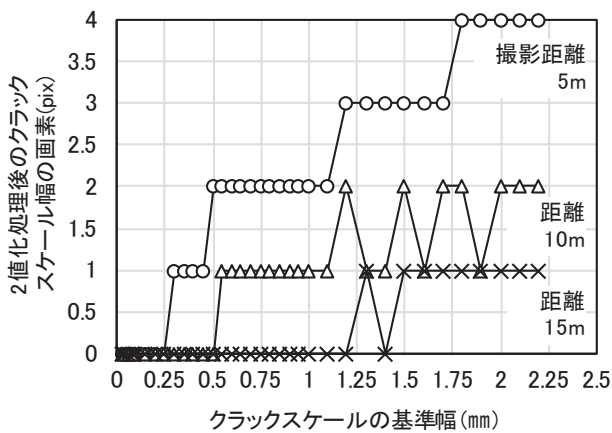


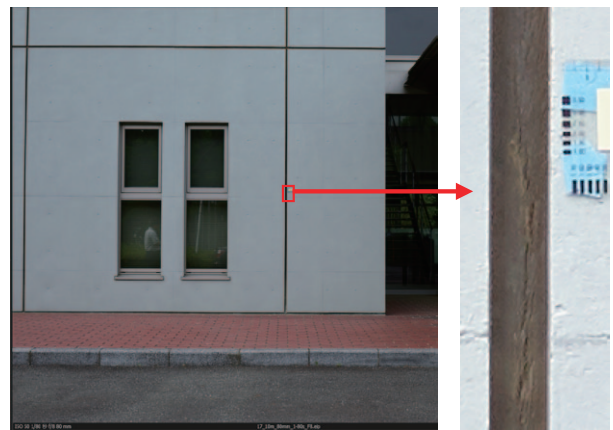
図15 2値化処理後のクラックスケール幅の画素から判断した視認性(1億画素カメラの場合)

0.55 ~ 1.45 mm、距離 15m では 1.5 mm 以上で、クラックスケールの基準幅を特定できると判断された。

ところで、カメラの撮影時にはベランダの上裏や暗色系の材料などは、現場でひび割れや劣化の視認性が悪くなる傾向がある。そこで、壁面から 10m 離れた地点から、1 億画素カメラを用いて暗色系の目地を対象にひび割れが検出可能かの検証を行った。その結果を図 16 に示す。図 16①の壁面ではひび割れの有無は確認できないが、赤い領域を拡大すると図 16②に示すようにシーリング目地のひび割れを観察することが可能である。これは明暗の差の幅を示すカメラのダイナミックレンジの範囲により依存する。今回用いたカメラでは暗い部分でも対象物を確認することができる性能を持つため、シーリング目地などの狭小で暗色系の厳しい条件でも表面状況を観察することが可能となる。

### 3) 外壁タイル貼りの剥離検出：赤外線カメラの適用

前章の国土交通省建築基準整備促進事業 T3<sup>5)</sup>における「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」の研究課題において、H29 年度に実施した結果を報告する。



①外装面の状況確認 → ②シーリング目地調査

図16 1億画素高解像度カメラによるシーリング目地のひび割れ観察(壁面からの離隔距離10m)

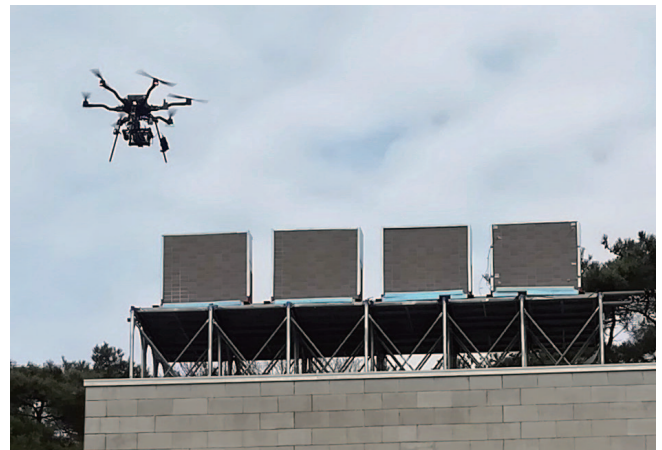


図17 屋根面に設置したタイル張り試験体におけるドローンによる調査

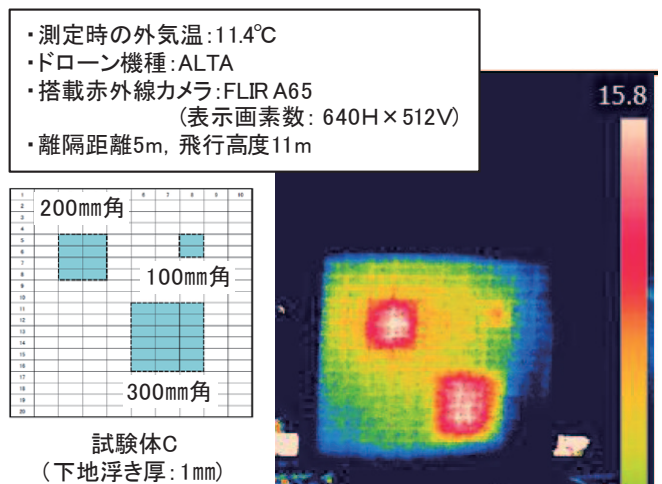


図18 ドローンに搭載した赤外線カメラによるタイル張り試験体の欠陥部の抽出例



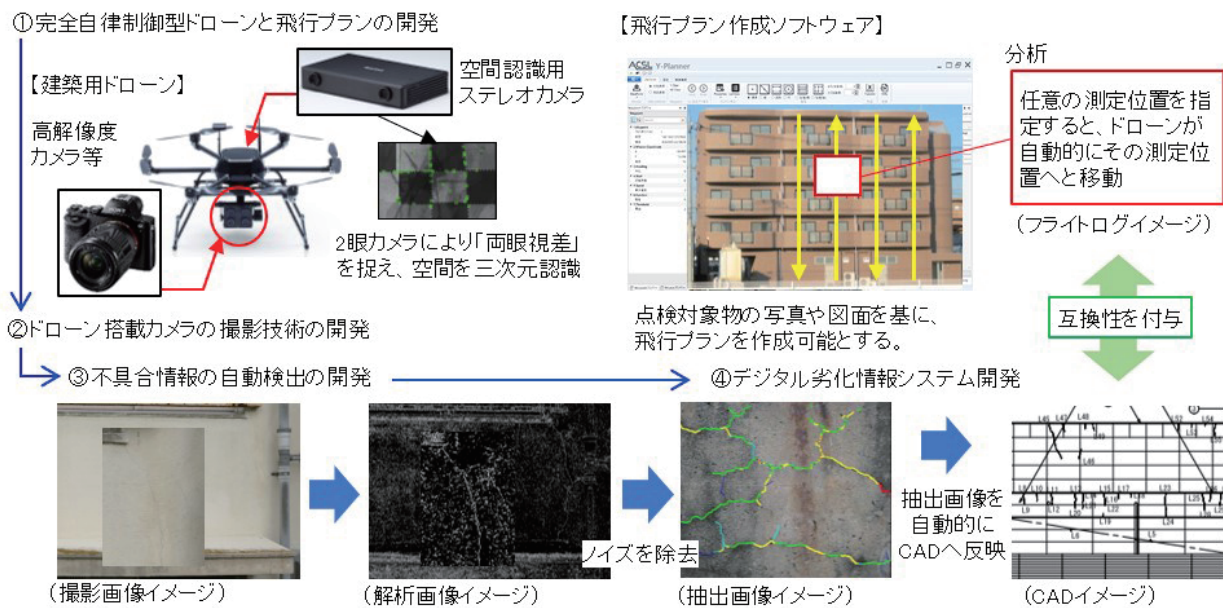


図19 ドローンを活用した建築物の自動点検調査システム

建築研究所にて、幅 1m×高さ 1m のタイル張り試験体内に欠陥部の大きさ、浮き厚を変数として作製した。これら試験体を、図 17 に示すように屋根面に試験体を設置し、赤外線カメラを搭載したドローンを用いて、試験体からの水平距離を 3m、5m、10m の 3 水準として、空中撮影による実証実験をした。図 18 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を示す。ドローンの優位性は対象物に正対して撮影することができることであり、赤外線カメラ撮影時の熱の反射や映り込みなどの影響を受け難い環境で撮影できるため、欠陥部の検出精度を向上させることができると考えられた。ただし、ドローンに赤外線カメラを搭載しても、地上にて赤外線カメラで撮影する精度以上は発揮されないため、赤外線カメラの検出精度に影響を与える環境条件を十分に把握した上で、ドローンを適用することが重要となる。

#### 4) ドローンを活用した建築物の自動点検調査システムの開発

建物点検において転落等の危険性に対する対策や省力化点検が求められており、ドローンによる自動点検技術はその解決方法の一つとして適用可能と考えられる。また、ドローンは一般的に GPS により位置制御されるが、建物が密集している場所では GPS 信号を捕捉することが困難となり、建物点検の精度だけでなく墜落の危険性が高くなる。これより本研究では GPS に依存しないカメラの画像情報により自己位置推定する SLAM(Simultaneous Localization and Mapping) を活用し、図 19 に示すように自動点検調査システムの開発を行っている。なお、本実験は国土交通省住宅・建築物技術高度化事業の一環で実施した。

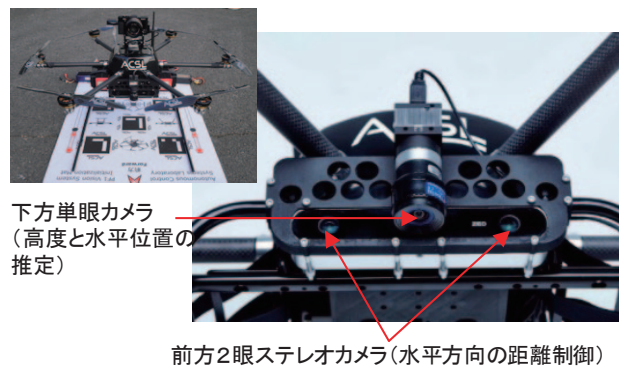


図20 Visual SLAM型のドローン

具体的には、仮想空間上で飛行プランを作成し、図 20 に示すドローンの前方に搭載された XY 座標系における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 等へ反映、及び飛行フライトログ等により 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。

建築研究所の実験用建物を利用して、ドローンの自動点検の実証実験を行った結果を図 21 に示す。図 21 左上図はドローンに搭載された可視カメラの撮影状況である。また同時に図 21 左下図のドローン前方に取り付けられたステレオカメラにより、事前に設定された梁からの距離 3m を維持しながら、色情報により距離を識別していることが分かる。さらに図 21 右上図の下方カメラにより、

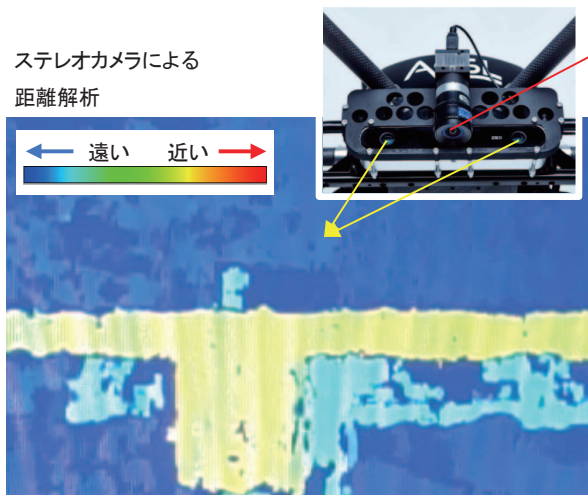
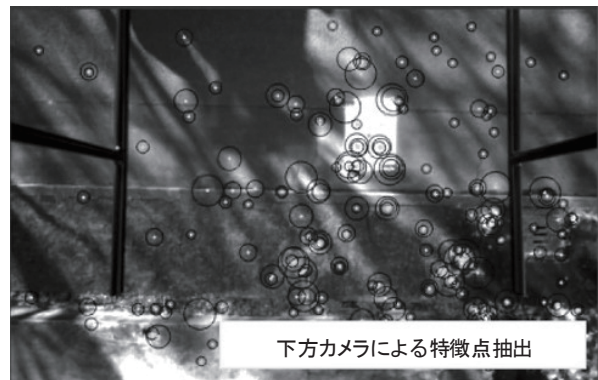


図21 Visual SLAM型ドローンに搭載した可視カメラ、及びステレオカメラの撮影・特徴点抽出の状況

ドローンの離陸地点、アスファルト舗装面の凹凸の特徴を読み取っている。この特徴点により、図21右下図に示す三次元点群地図を作成し、機体の自己位置を推定することができた。これにより従来のドローン操縦に必要であった操縦者の要求スキルを軽減でき、安定した画像を撮影することが可能となった。

### 5) ドローンで取得したデータの記録と分析への活用

ドローンにより建物の劣化情報の記録を定期的に撮影・測定し、長期的に保管し、建物維持管理に役立てることは重要なことである。そこで、建築研究所ばくろ試験場を用いてデータ取得の検証を試みた。表10に示すように1億画素カメラを用いて、対象とする撮影画像の解像度を1~2mm/pxとし、地上から32mの高度と設定した。その後、1億画素カメラをドローンに搭載して、図22に示すように、オーバーラップ率とサイドラップ率を計算した後、PC上でドローンの自動飛行のためのルートを設定し、実際にドローンを自動飛行させた。その後、図23上図に示すように、3次元モデルに変換して、試験体の位置関係並び劣化情報等の保存・記録を行った。例えば、図23下図に示すように、長期間ばくろされたシーリング目地の試験体の劣化・汚れの状況を俯瞰的かつ詳細に観察

表10 カメラ撮影条件とドローンの飛行条件

撮影カメラ	1億画素カメラ・150mmレンズ (11608×8708画素)
オーバーラップ率×サイドラップ率	75%×75%
飛行速度	4.7km/h
インターバル撮影時間	2秒
飛行時間(離発着含む)	約45分
撮影枚数	約1400枚
分解能(地上面を基準とした)	1~2mm/px(撮影距離32m)
撮影総面積	10,000m <sup>2</sup>

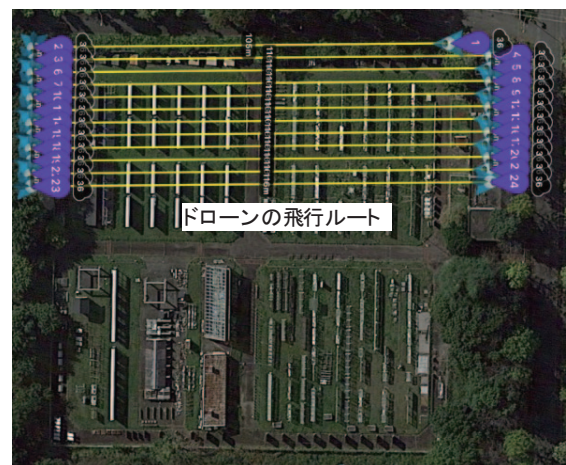
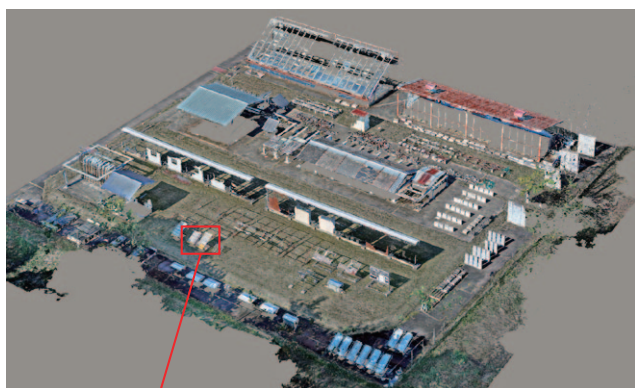


図22 ドローンの自動飛行による撮影





拡大 建築研究所ばくろ試験場の3次元モデル



図23 3次元モデルによるシーリング材表面に仕上塗材を塗装した場合の汚染性試験結果の一例

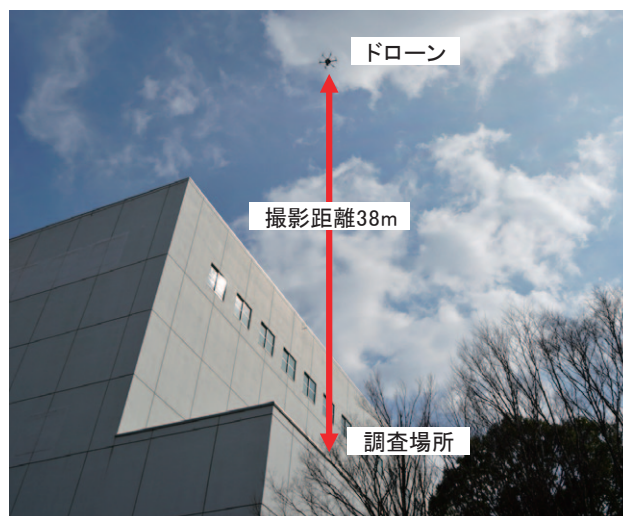
することが可能となり、これら情報を経時的に撮影・保存しておくことで、アーカイブとしての役割として機能する。

次に、建築研究所の屋根面の防水シートの劣化情報をアーカイブとして記録・保存した事例を示す。撮影画像の解像度を1.2mm/pxとし、地上から38mの高度と設定した。その後、図24上図に示すように自動飛行により屋根面全体を撮影後、図24下図の屋根の一連の劣化所法を取得した。例えば、m単位では屋根面全体では防水シート上の排水の流れ状況や屋根面積を、cm単位ではドレン廻りの状況確認、mm単位では防水シートの補修状況、ジョイント部のひび割れ長さ・幅等を同時に記録し、今後の補修・改修の履歴情報として活用を検討する等に適用可能である。

## V ドローンの新しい活用の可能性

### 1) 災害分野へのドローンの適用

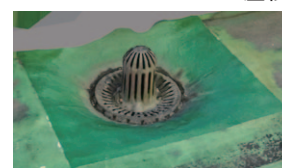
建築研究所では、平成30年度SIP「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」の「衛星データ等即時共有システムと被災状況解析・予測技術の開発」で実施される「被災状況把握技術開発」を開始した。その一環として、ドローンを活用して市街地から個別建物に至る被災状況を把握するための一連のシステムを検討している。



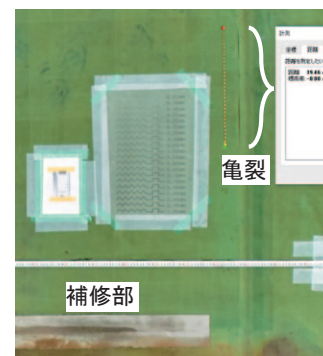
取得データ



屋根全体の状況



ドレン廻りの状況確認



亀裂

補修部



周長 141.41 m  
領域 498.51 m<sup>2</sup>

屋根面積の計算

防水シートジョイント部の亀裂と補修部

図24 3次元モデルと劣化情報の抽出（1億画素）

ここでは、これら被災建物に係わるドローンの活用例を紹介する。

2016年4月に熊本県にて発生した地震により被災した地上3階建ての建物に対して、構造研究グループとの共同研究により被災度を判定する調査者とドローン操縦者の連携で調査を実施した。その流れを図25に示す。まずドローン操縦者はドローンにより建物のひび割れ近くを撮影する。調査者は建物から離れた位置でVRゴーグルを装着し、ドローンで撮影されている画像情報を、調査者が確認したいひび割れを抽出して判定できるかの検証を行った。その結果、遠隔操作により、ドローンにより被災建物を調査することが可能であることが分かった。

### 2) 3Dレーザースキャナー等を用いた解体建築物の躯体量の積算

建築研究所では、平成30年度PRISM国-03・05仮設・復興住宅の早期整備による応急対応促進の①-5「災害廃棄物等を用いたリ





図25 被災建物におけるドローンによる遠隔調査



図27 狭所空間（例：エレベーターシャフト）内のドローンによる点検調査

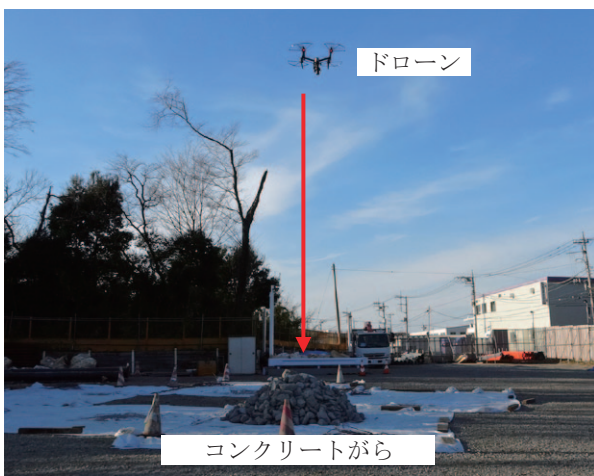


図26 ドローンによるコンクリートがらの体積計算

サイクルコンクリートの実用化技術の開発」を開始した。その一環として実施している「3D レーザースキャナーによる解体建築物の躯体量等から復旧・復興に利用可能な資材量の推定に関する検討」の例を紹介する。RC 造柱を解体後、コンクリートがらの体積を計算するために、ドローン飛行により測定した状況を図 26 に示す。これら 3D レーザースキャナーあるいは高解像度カメラを適用して、ドローンにより上空から、早期かつ短時間に解体建築物の躯体量等の推定を行うことで、廃棄物の管理が合理化すると考えられる。

### 3) 狭所空間におけるドローンの活用

ドローンを活用した建物物に係わる活用事例は外部空間が多いが、室内、特に天井裏、床下等の人が入って確認することが困難な狭所空間でも、ドローンの活用性は高い。そこで本研究では、エレベーターシャフト内の内壁調査を実施した。その状況を図 27 に示す。エレベーターシャフト内は、一般的なサイズのドローンでは物理的に飛行できない狭所空間であるため、200g 以下のマイクロドローンを使用した。さらに GPS が捕捉できず、エレベーター内は

暗所であるため、レーザーによりドローンを自己位置推定する非 GPS 制御機能を持つドローンで実証実験を行った。これら技術は、建物点検だけでなく、人の見守り（巡回）等のさまざまな用途に適用可能と考えられ、人と共生するドローンが今後増えていくと考えられる。

## VI おわりに

ドローン技術は建築材料施工や災害分野に限った技術ではなく、建築教育、情報システム、設備、設計、都市計画、環境工学、建築史、防犯等、広範囲な部門で活用が期待されている。また、人とドローンの共生に関するテーマも重要である。さらに、異分野連携、産官学連携、そして海外との連携を図るコネクテッド・インダストリーズを強化することにより、安全・安心な建築ドローンプラットフォームを構築し、社会に貢献できる水準の技術となるように関係者と協力して整備していくことが必要不可欠と考えられる。

## 参考文献

- 1) 春原久徳、小池良次、株式会社 CLUE、ドローンビジネス調査報告書 2018、インプレス総合研究所、2018
- 2) 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](http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html)
- 3) 空の産業革命に向けたロードマップ～小型無人機の安全な利活用のための技術開発と環境整備～（平成 29 年 5 月 19 日 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会）「補足資料」
- 4) 小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ（平成 28 年 4 月 28 日 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会）、[http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamu\\_jinki/pdf/shiryou6.pdf](http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamu_jinki/pdf/shiryou6.pdf)
- 5) 国土交通省基準整備促進事業 T3、[http://www.mlit.go.jp/report/press/house05\\_hh\\_000652.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000652.html)
- 6) （一社）日本建築ドローン協会、建築物へのドローン活用のための安全マニュアル（第 1 版）、2018 年 9 月 1 日発行