

ドローン技術の動向と建築維持保全への利活用の検討

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 ドローン技術の動向と取組み
 - 1) ドローンの定義
 - 2) ドローン市場
 - 3) ドローン飛行時の法律とルール
 - III ドローンを活用した建物調査診断方法（案）
 - 1) 調査手順
 - 2) 建物調査に必要な検討項目
 - IV ドローンによる建物調査事例
 - 1) RC造建築物における調査
 - 2) 端島（軍艦島）におけるRC造建築物の調査
 - 3) （一社）日本建築学会・UAV-WGの活動と調査事例の紹介
 - V 建築分野においてドローン活用に必要な事項
 - VI おわりに
- 参考文献

I はじめに

既存建築ストックの活用を促進する上で、建築物の健全性診断と長寿命化のための維持管理が課題となっており、建築研究所を含め関連学協会等においても新たな指針、仕様書の作成が検討されている。これに関連して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等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」の調査方法等により行っており、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等の点検が求められている。しかし、外壁の劣化・ひび割れ等の確認において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、良好なストックを維持していくための合理的な点検手法の整備が急務となっている。これら外壁タイルの点

検・調査の省力化については、現在、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、既存のはく離検知器・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ており、コスト削減の要求もありロボットの現場活用が検討されている。一方で、1次診断として外観の目視点検をする場合については、肉眼もしくは双眼鏡等により壁面の異常を確認するが、高層建築物では視認性の観点から適用が難しい場合が多い。このような課題に対して、建築物外壁面等の変状・損傷を早期かつ合理的に評価できる手法が必要と考えられる。その一つの解決法として、無人航空機（以下、ドローンとする。）を活用した空撮等の点検による建物診断技術が期待されている。

以上の背景により、著者は平成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」の課題のサブテーマとして、ドローンを活用した建築外皮（屋根・外壁）を容易に確認する技術と既存診

断技術への支援システムの開発の検討を開始した。

本稿では、建築物の定期点検・調査においてドローン技術の活用を試み、ドローン分野の技術動向と建築維持保全への適用性の検討について紹介する。具体的には、ドローン技術の基礎並びにドローン取り巻く法律や国交省 i-Construction 等の政府の取組みについて説明し、後半では建築分野におけるドローンの活用事例と建築物の点検・診断に必要とされる事項について紹介する。

II ドローン技術の動向と取組み

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。ところで、ドローン技術以外に、模型の自動車・飛行機を無線により遠隔操作するラジコン飛行機 (ラジオコントロール) がホビー用から工業用まで様々な分野で活用されている。ドローンとラジコン飛行機は飛行させる点では似ているが、両者の制御機構は大きく異なる。ドローンは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。

2) ドローン市場

ドローンは、空の産業革命として脚光を浴びており、世界各地で急速に市場が拡大している。ドローンは第二次世界大戦において米国にて標的機 (ターゲットドローン) として軍事用に利用されており、最近ではテロを契機にドローンの軍事活用が本格化している。一方で、民生用としては 2010 年の Parrot 社 AR ドローンの販売、さらには 2012 年の DJI 社 Phantom 販売により、ここ 2~3 年で急速にドローンの制御技術が進歩を遂げ、ユーザーがドローンにより簡単に鳥の目を持てる時代となった。

図 1 に示すように、ドローンの商用利用については中国・深センの DJI 社が台頭し、2014 年時点の調査で世界のドローンの

台数ベースでは約 60%以上が DJI 社製²⁾ であり、現時点ではさらにシェアを拡大していると予想される。世界の販売高シェアでも DJI 社が約 25%を占めており、世界のドローン市場では中国 1 強であり、次に欧 (フランス等) 米のメーカーが続いている。世界のドローン市場の用途別では、空撮が 50%以上を占め、次に測量、点検、農業分野への活用が拡大している。

一方で、日本におけるドローンビジネスの市場規模については、図 2 に示すように、2015 年度は 104 億円、2016 年度は 199 億円に拡大し、2020 年度には 1,138 億円 (2015 年度の約 11 倍) に達すると見込まれている³⁾。機体、サービス (宅配、整備・点検、測量、農薬散布等)、周辺サービス (バッテリー等の消耗品

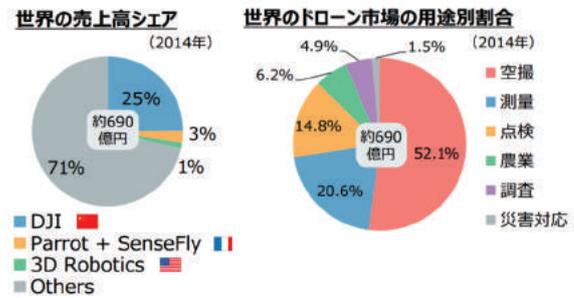


図1 ドローンにおける世界市場規模 (出所: Frost & Sullivan 2015, 及び経済産業省¹⁾より抜粋)

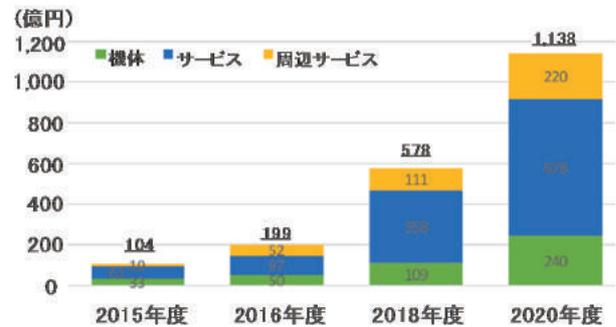


図2 国内のドローン市場規模の予測 (参考文献3) : ドローンビジネス調査報告書2016)

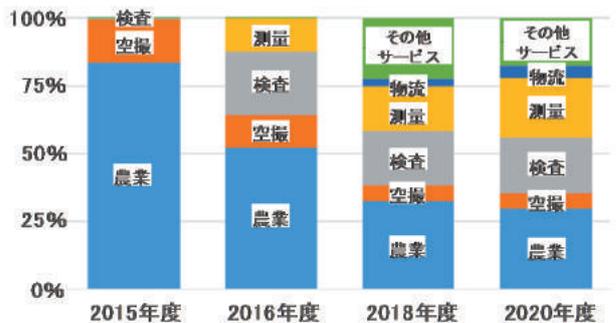


図3 国内のドローン市場における分野別内訳 (参考文献3) : ドローンビジネス調査報告書2016)

の販売、定期メンテナンス、人材育成や任意保険等)に分類すると、サービス分野のシェアが大きい。また、図3に示すように2015年の時点では、農業、空撮分野の割合が大きい。今後は測量、点検、物流の分野で市場拡大が見込まれている。しかし、著者が測量、点検分野におけるセミナーや書籍等による情報収集をした範囲においては、土木分野(橋梁、ダム等)における点検のための活用が殆どであり、建築物を対象とした点検の事例は非常に少ないのが実情である。

これらドローン市場の拡大に加えて、2015年4月に首相官邸無人機落下事件が発端となり同年12月に改正航空法が施行された。高度150m以上の空域、空港周辺、そして人又は家屋の密集地域においては飛行禁止区域となり、ドローンを飛行させるためには国土交通大臣の許可が必要となった。このようにドローン技術を活用するためには、「技術革新」と「法的規制」のバランスをとることが必要不可欠であると考えられる。

ドローン技術の活用の検討について、各府省庁がドローン、もしくはドローンを含めたIoT・人工知能(AI)などの革新的な技術に関わる委員会を立ち上げており、第4次産業への期待の大きさがうかがえる(表1、表2)。例えば、政府におけるドローン関連の会議において、首相官邸政策会議「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」では、小型無人機の利活用と技術開発のロードマップが策定されている⁴⁾。この官民協力会議は、平成27年11月の「第2回未来投資に向けた官民対話」において、安倍晋三内閣総理大臣から、「早ければ3年以内に、ドローンを使った荷物配送を可能とすることを目指す」こと、及びそのために利用者と関係省庁等が制度の具体的な在り方を協議する「官民協議会」を立ち上げるという指示により、ド

ローン関連の企業が参画し検討された。この小型無人機の利活用と技術開発のロードマップでは、2016時点から2020年代までの物流、災害対応、インフラ維持管理、測量、農林水産業分野における技術的検討と開発項目について示されており、ここでは建築に関連すると思われる項目のみ図4に示す。災害対応に関しては、災害時の早急なドローン活用の運用方法や、ドローンの使用が想定される災害時の厳しい環境にも耐えうる耐環境性と早期情報収集の取得方法が求められている。インフラ維持管理に関しては、全国各地(特区、テストフィールド等)における実証のための飛行場所の設置や、インフラ点検時のドローンの安全飛行技術とドローンに搭載する測定機器のデータ取得技術の開発の検討が求められている。

一方で、ドローンの技術開発には多くの実証実験が必要となる。このため、政府はドローン等の自動航行の技術開発を後押しするため、大胆な規制緩和を行う国家戦略特区にて自由に実験が行えるようにする方向で検討を進めている⁵⁾。また、経済産業省は、福島県浜通り地域の早期の復興を支える新技術・新産業の創出に向け、福島イノベーション・コースト構想を推進し、ドローン等のロボット開発・実証プロジェクトを推進している⁶⁾。

そして、測量分野に関しては建築分野のドローン活用の先行事業として考えられ、土木分野における国土交通省「i-Construction」の取組みが参考となる⁷⁾。「i-Construction」とは、「ICTの全面的な活用(ICT土工)」等により、建設生産システム全体の生産性向上を図る取り組みである。この中で、ドローン等による3次元測量、並びに検査の省力化を目指しており、写真測量を短時間に高密度に実施し、維持管理の合理化を図っている。SfM(Structure from Motion)ソフトにより、多

表1 ドローン技術に関する政府の取組状況(2017年1月調査時)

省庁	名称	設立時期	目的
内閣府	千葉市ドローン宅配等分科会	平成28年4月～	都市部における小型無人機の近未来技術実証のための制度整備に資する、新たな制度改革・規制改革について重点的・集中的に検討する。
内閣府	千葉市ドローン宅配等分科会技術検討会	平成28年6月～	国家戦略特区における小型無人機による宅配の早期実現のため、「千葉市ドローン宅配等分科会」の下に設置。実証実験の具体的プロジェクトを実施、技術的課題を抽出する。
首相官邸	小型無人機に関する関係府省庁連絡会議	平成27年4月～	小型無人機を利用した重要施設の警備体制の抜本的強化、無人機の運用ルール策定と活用の在り方、関係法令の見直し等について検討する。
首相官邸	小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会	平成27年12月～	小型無人機の安全確保のための制度設計、安全確保策の体系化・共有、事業・業務振興のための環境整備等について検討する。
首相官邸	小型無人機の更なる安全確保のための制度設計に関する分科会	平成28年1月～	小型無人機の安全確保のための制度設計、安全確保の体系化・共有、事業・業務に活用する場合の安全規制の在り方等について検討する。
国土交通省	物流用ドローンポータル連絡会	平成28年7月～	「交通運輸技術開発推進制度」を活用し、ブルーイノベーション(株)、東京大学と連携。ドローンの目視外飛行における安全な自動離着陸可能、かつ安価に設置できる物流用ドローンポータルシステムの研究開発を行う。
国土交通省	航空機・無人航空機相互間の安全確保と調和に向けた検討会	平成28年11月～	第5回 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会においてとりまとめられた「小型無人機の更なる安全確保のための制度設計の方向性」に基づき、航空機運航者、無人航空機運航者等の参加のもと、航空機、小型無人機相互間の安全確保と調和について検討する。

表2 ドローン技術を含む政府の取組状況（2017年1月調査時）

省庁	名称	設立時期	目的
内閣府	国家戦略特別区域諮問会議 (国家戦略特区)	平成25年 12月～	制度改革を通して経済社会の構造改革を重点的に推進し、産業の国際競争力強化、国際的な経済活動の拠点形成を図る。
国土交通省	次世代社会インフラ用ロボット現場検証 委員会	平成26年 4月～	「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」の結果を踏まえ、開発・導入を促進するロボットの現場検証及び評価を行うことを目的とする。
国土交通省	i-Construction 委員会	平成27年 12月～	生産年齢人口の減少が予想される中、生産性向上と企業の経営環境の改善、安全性の確保等を推進、そのための基本方針や推進方策等を検討する。
国土交通省	ICT 導入協議会	平成28年 2月～	i-Construction の3本柱の一つである土工への「ICTの全面的な活用」に向けて、ICTを建設現場へ円滑に導入、その普及推進を図るために関係業界等の意見を聴取し、具体的な課題解決に向けた共通の認識を得ることを目的とする。
国土交通省	i-Construction 推進コンソーシアム	平成28年 11月～	産学官が連携して、IoT・人工知能(AI)などの革新的な技術の現場導入や、3次元データの活用などを進めることで、生産性が高く魅力的な新しい建設現場を創出することを目的とする。
国土交通省	インフラメンテナンス国民会議	平成28年 11月～	インフラメンテナンス産業の育成・活性化のため、産学官が民間の新技術の掘り起こし、多様な業種からの新規参入促進、メンテナンスの理念普及等を目的とする。
経済産業省 総務省	IoT 推進コンソーシアム	平成27年 10月～	産学官が参画・連携し、IoT推進に関する技術の開発・実証や新たなビジネスモデルの創出推進するための体制を構築する。
経済産業省 総務省	スマートIoT 推進フォーラム	平成27年 12月～	「IoT 推進コンソーシアム」の下、IoT、BD(ビッグデータ)、AI(人工知能)等に関する技術の開発、実証を推進する技術開発WG
経済産業省	ロボットテストフィールド・国際産学官共同 利用施設(ロボット)活用検討委員会	平成27年 12月～	「ロボットテストフィールド」及び「国際産学官共同利用施設(ロボット)」の整備等の実現に向けて、事業の具体的な進め方を検討する。
経済産業省 総務省	IoT 推進のための新ビジネス創出基盤整備 事業(無人航空機IoT 実証事業)	平成28年 1月～	準天頂衛星を活用した、無人航空機による安全な物流事業の実現に向けた実証。
経済産業省	産業構造審議会 新産業構造部会	平成27年 8月～	IoT、ビッグデータ、人工知能等による変革的領域に対応するため、官民が共有できるビジョンを策定するとともに官民に求められる対応について検討をする。
新エネルギー・ 産業技術総合開 発機構	インフラ維持管理・更新等の社会課題対 応システム開発プロジェクト	平成26年 4月～	的確にインフラの状態を把握できるモニタリングシステムの技術開発及び維持管理を行うロボット・非破壊検査装置の技術開発を行い、インフラの維持管理・更新等における財政問題及び人材・技術不足の解決に寄与する。
総務省	電波政策2020 懇談会	平成28年 1月～	ワイヤレスサービスの発展・国際競争力強化のための方策、新たな無線システム導入のための制度見直し、電波利用料制度のあり方等について検討する。
総務省	電波政策2020 懇談会 サービスWG	平成28年 1月～	我が国の無線インフラ・サービスを国際競争力のある有望ビジネスに育てるための方策等について検討を行う。
総務省	電波政策2020 懇談会 サービスWG ワイヤレスビジネスTF	平成28年 1月～	ワイヤレスビジネスの有望な分野について実用化、普及、海外展開等の方策等について検討する。
農林水産省	新たな農林水産業用回線・無人航空機 の利用に関する検討会	平成27年 8月～	ドローン等小型無人機に関する新たな安全対策の基準等を検討する。

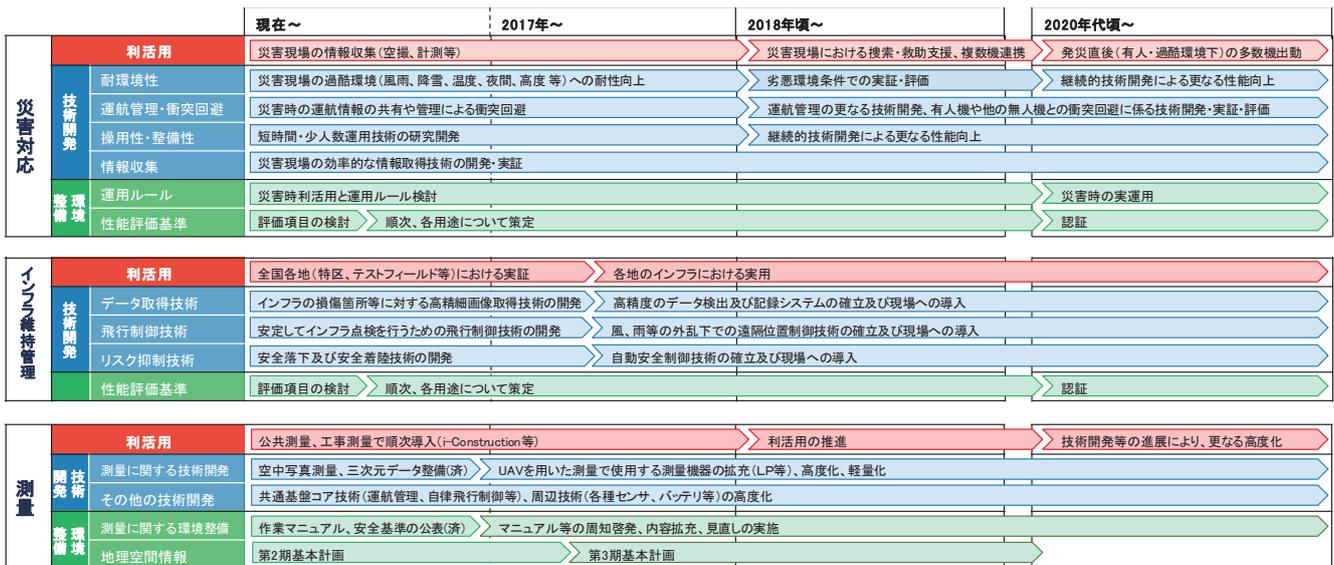


図4 小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ
(参考文献4)：平成28年4月28日 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会より抜粋)

量の静止画像や動画で撮影された画像からカメラの撮影位置を推定し、3次元モデルデータに変換することで、比較的簡単に測量や分析ができるようになった。さらに、最近では膨大な画像データを自動で3次元データに変換するクラウドシステムの市場も拡大している。

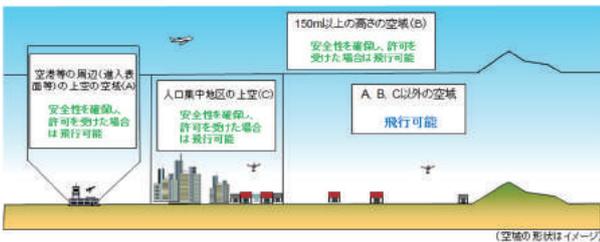
また、全国各地でドローンに関連した公共・民間団体が設立され、インターネットで検索できる範囲だけでも、50団体以上も存在し、ここ2～3年で急激に増加している。これらドローン関連団体や企業は、ドローン技術情報セミナー、ドローンスクール等を数多く開催している。しかし、建設系のドローン技術に関しては殆どが土木分野に関わるものであり、建築物を対象としたドローンの利活用の検討はほとんどなされていない。

3) ドローン飛行時の法律とルール

前述の通りドローンの技術革新により、ドローンが安価に購入できるようになり、高度な飛行技能を持たなくても、誰でも簡単にドローン飛行操作ができるようになった。この先進技術を悪用し、2015年4月に発生した首相官邸無人機落下事故のような社会問題も発生した。国土交通省ではこれら落下に対する安全対策を強化し、2015年12月に航空法が、図5及び以下のとおり改正・施行された。

「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、国土交通大臣の許可が必要となった⁸⁾。特に、建築分野において関連性のある「人口密集地区(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。

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

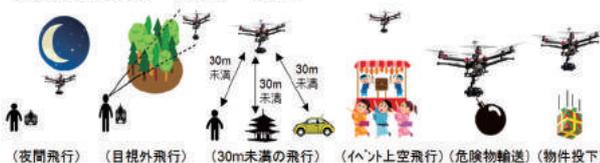


図5 無人航空機に係る航空法改正(参考文献8)

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、国土交通大臣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、必ず承認を受ける飛行申請手続きが必要となる。

さらに国土交通省以外の法令にも注意を払う必要がある。例えば、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。建築物の点検のために、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。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。

III ドローンを活用した建物調査診断方法(案)

1) 調査手順

前述の建築基準法12条による定期検査報告以外に、建築物の調査・診断へのドローンの様々な活用が期待されている。図6に示すドローンを活用した建築保全技術(案)に示すように、既存の建物調査レベルを1次診断(包括的な内容の診断)、2次診断(中程度の診断)、3次診断(詳細な診断)に分類すると、現段階のドローン技術水準では、足場の準備を必要としない1次劣化診断である目視検査の活用が有効と考えられる。特に、高層建築物での高層階の外壁目視点検あるいは外壁面積が大きい場合は、ドローンに搭載したカメラ(可視カメラ、あるいは赤外線カメラ)により点検する方法は効果的である。

ドローンを活用した建物調査診断方法(案)を図7に示す。ドローン技術は目視検査、非破壊試験に適用可能と思われるが、本稿では目視検査を支援するカメラの活用について主に説明する。なお、以下の調査においては、ドローンの飛行における国交省への飛行申請、管轄警察署、管理者・居住者への飛行への許可、そして付近住民への連絡等を行うことが前提となる。

① 事前・予備調査(ドローンの飛行計画の検討)

調査対象とする建築物の事前調査(設計図書、施工記録、点検記録、修繕工事等)との照らし合わせ、並びに②～④の調査を安全かつ合理的に実施するためのドローン飛行計画を立てる。状況に応じて、現場でドローンを安全に飛行できるかの予備調

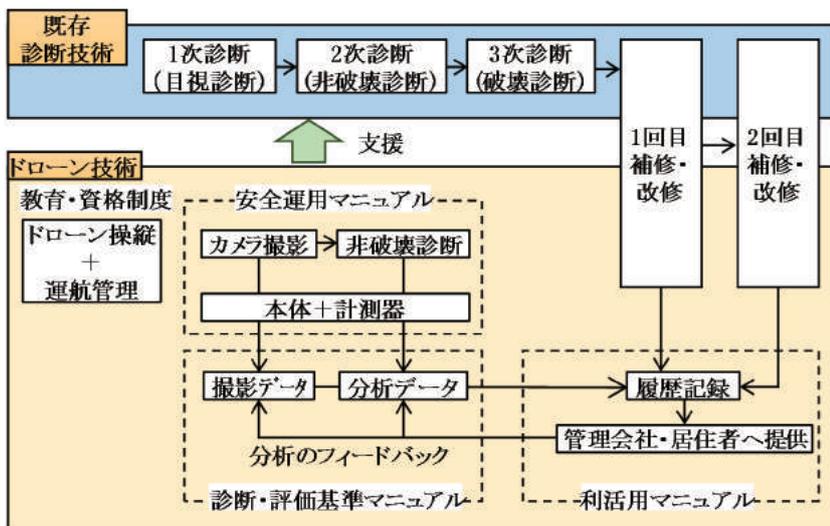


図6 ドローンを活用した建築保全技術（案）

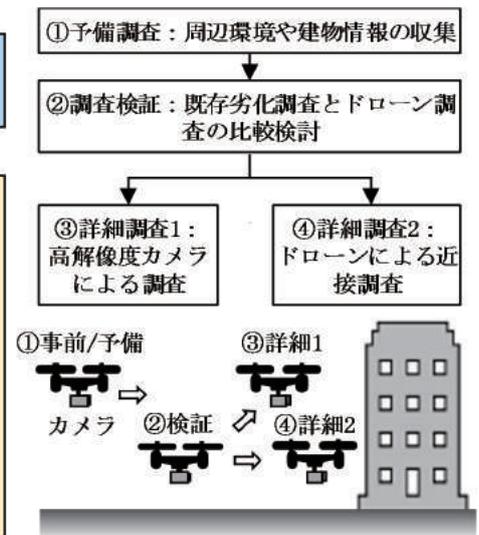


図7 建物調査診断方法（案）

査も必要となる場合がある。

気象環境要因：ドローン飛行に影響を及ぼす要因として気象環境がある。ドローンが安定的に飛行できるかの検証が必要となり、測定する場所の気象情報だけでなく、現場での局所的な風（強風、ビル風等）の影響、調査建物周りの影響（例えば、周辺の歩行者の状況、道路に隣接している、樹木が生えている等）があるかの検討をする。また、万が一のドローンの故障で飛行が困難になった場合には、安全に着地するための場所の選定、ドローン飛行時のバッテリー時間を考慮した飛行経路等も検討する必要がある。さらに、カメラ撮影に適した天候（晴天か曇天か等）と赤外線カメラを使用する場合には周辺と建物の温度環境調査も必要となる。

建物の要因：カメラ撮影においては調査する建物への日陰の影響、建物についてはベランダ、庇等のカメラの撮影が難しい場所への対策、壁面材料の種類や色の影響等も確認する必要がある。また、DID（人口集中地区）ではGPSが届かないケースが多くあり、GPSだけに頼った飛行は危険である。このため、非GPS環境下でも安定的に飛行可能なドローンを使用する技術的対策、落下しても安全のようにドローンリール等を使用する具体的対策、あるいはマニュアル操縦の場合には高い操縦技能を持った操縦士の確保等が重要となる。

調査データ取得方法の検討：ドローンに搭載したカメラによって、建物の3次元（点群）処理をする、あるいは詳細なひび割れ調査をする場合には、撮影画像の枚数や容量が膨大となり、撮影後の処理と分析を適正に行うための検討も必要となる。また、②～④の詳細調査をする場合には、撮影した場所の基準点

を定めて撮影ポイントと調査個所が一致するよう検討しておく。

② 調査検証（足場を必要としない場所での調査）

建築物の調査点検において、ドローンのみの調査は簡便であるが、目視点検や既存検査機器による測定結果と比較・検討しておくことでドローンの取得データの信頼性を高めることができ、撮影データの手戻りを防ぐためにも既存調査とドローン調査の併用が望ましいと考えられる。足場を必要としない場所を選定して、目視点検もしくは通常のデジタルカメラ撮影状況と、ドローンに搭載したカメラの撮影状況との比較検討を行い、劣化情報の精度を確認しておく。例えば、外壁のひび割れ分布や赤外線画像情報などがどの程度の精度と整合性があるのかを確認しておく。この調査検証の段階で、状況に応じて①予備調査した結果と照らし合わせて、ドローンの飛行計画を立て直すことも考慮に入れる。

③ 及び④ 詳細調査

建物外壁全面の劣化情報を詳細に取得する方法として、③詳細調査1のような調査対象物から離れた状態で、高解像度カメラで撮影する方法が効率的である。③の方法の利点として、高解像度のデータ取得により撮影枚数を減らすことができ、調査時間の短縮が可能である。また、撮影後の画像データ処理（ラップ率）の影響を小さくすることができるだけでなく、分析する負担も軽減することも可能である。調査対象物から離れてドローンを飛行させることができるため、安全面でも有利である。一方で、④詳細調査2についてはドローンを調査対象物に近接もしくは直接接触させながらの調査となり、③の調査方法のメリットを失う。しかし、2次診断に使用される打音診断等の対象

物への直接の調査をすることができるため、カメラ以外の検査機器を搭載することにより、今後の更なるドローン技術の革新により無人化による詳細調査の可能性が期待される領域である。

2) 建物調査に必要な検討項目

ドローンを安全に飛行させ、実際に建物調査の手段として活用するためには多くの検討課題に対して取り組む必要がある。まず、建築物の調査をするためのドローン操縦士の育成が必要である。現時点で、国交省ではドローン操縦士の免許制度の精度は見合わせ、民間団体の資格を活用することにしており、各ドローン関連団体や企業にて独自にドローンスクールが開催されている状況である。しかし、現在のドローンスクールは、ドローン技術はまだ発展途上であるため、ドローン本体そのものの操縦技術に特化したものが多く、業務に対応したものでも i-Construction 関連が多く、建築物の調査点検に対応した技能講習は殆どないのが現状である。このため、ドローンによる建物調査を対象として狭い空間での飛行、低速での一定飛行、対象物への接近時や凹凸面への対策などの飛行技能訓練も必要と考えられる。また安全に飛行させるための運航管理も必要となり、操縦者、ドローンが飛行しているかの機体のチェック担当者、ドローンが撮影している画像の確認担当者の3名以上での検査となり、調査におけるチームワークの教育も要求される。

現在の民生用ドローンは、業務用として適用可能な技術水準まで到達しているものもある。ただし、建築物の診断においては前述の通り、GPS が届かない場所での飛行である場合が多く、高層建築物では強風の問題、ビル風などの突風の問題についての対策を行っておく必要がある。また、民生用ドローンは、機

体本体の状態や飛行ログを取得できない場合が多く、保有しているドローンのデータの管理をすることが難しい。

ドローンを活用したデータの診断結果については、既存建築物の調査・診断指針に沿った形で、既存診断と併用して活用することが前提になると考えている。ドローンを活用して建築物を診断している事例は非常に少なく、安全なドローン飛行とデータ取得を行うためにも多くの実証実験を重ね、どの水準までであればドローンの活用ができるのかの検証が重要となる。

そして、取得したデータに関しては、補修・改修の履歴情報として活用されることが期待されている。建築物情報、劣化情報等を電子カルテとして保存し、今後の効率的な補修・改修計画や工事管理することで建築物の長寿命化を図り、コスト削減への貢献も可能になると考えられる。

IV ドローンによる建物調査事例

1) RC 造建築物における調査

ここでは、ドローンに搭載した可視カメラにより、実建物の劣化状況の観察とデータ分析方法の検証、並びにドローンの飛行状態を確認するために実証実験を行った結果を示す。

① 使用したドローン

調査に使用したドローンは表3に示す3機である。DIJ 社製 Phantom4 は、世界で最も多く販売されている小型のドローンであり、独自の高性能カメラを搭載している。また、(株)自律制御システム研究所が独自に開発したドローンは国産のオートパイロットが搭載されており、市販のカメラを搭載することができる。MS-06LLA は機体上部に搭載したレーザーレンジファイン

表3 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
搭載可能重量(kg)	-	6	10
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：ドローン機体及び撮影協力：三信建材工業（株）



写真1 ドローンによる建物劣化調査

ダーにより機体がリアルタイムに周囲の環境を認識し、あらかじめ設定した距離の範囲内に障害物（構造物）が接近すると、それ以上は進まなくなるような衝突回避機能を備えている。

② 実験方法

写真1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、建物には居住者がいない状態で、十分な安全確認を行った後、試験を実施した。ドローンによる建物劣化状況の撮影については、南北面の外壁はMS-06LLAにより、屋根面はMS-06LAにより行い、ソニーα6000（画素数：2030万画素）にて撮影を間隔1ショット/1秒で行った。また、Phantom4により、MS-06LAとMS-06LLAの建物劣化調査状況を撮影した。

③ 3次元画像の処理方法

2D画像から3D画像へ変換するソフトについて、Photo Scanソフトを使用した。ドローンで撮影した写真をステレオマッチングにより、それぞれの写真の同調するポイントを抽出し、抽出されたポイントを、RGBデータを持った点群として変換することにより、3Dモデルを構築した。なお、撮影画像のラップ率は約70%とし、3Dモデルの構築元となった写真は、撮影ポイントを逆算することにより推定され、ソフトウェア上に表示することや、ドローンが飛行した軌跡を確認することができる。



図8 3D点群モデル（建物全体）



図9 3D点群モデル（バルコンドまわりと上裏）

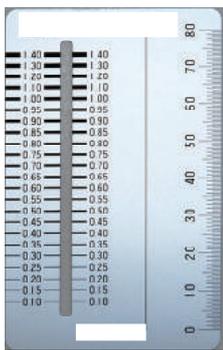
④ 3D点群画像及びオルソ画像による劣化状況の検討

図8に3D点群画像を示す。建築物全体の大きな劣化状況とその劣化分布を読み取ることができる。しかし、建物中央の外壁は色が白色系であったため、色抜けしている。図9にバルコンドまわりの状況（左図）とバルコンド上裏（右図）の部分拡大した図を示す。バルコンド手摺部分の腐食状態を確認することができるが、詳細な腐食状態を定量化するためには点群の密度を大きくする（各点の間隔を狭くする）必要がある。また、バルコンド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、カメラの撮影方法を工夫する必要があると考えられた。

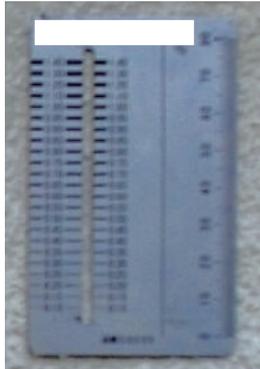
図10に撮影した建物南面の画像から、オルソ画像に変換してひび割れ部を抽出したものを示す。図10ではひび割れ部を赤線により示し、ひび割れ長さや幅を数値として記載した。目視確認できない場所のひび割れの部分分布状況を図面化し、ドローンに搭載したカメラにより簡易的に劣化状況を確認することができた。しかし、ひび割れ幅が小さい場合は、色差の影響や撮影



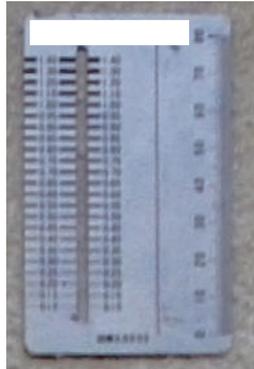
図10 南面外壁のひび割れ図（オルソ画像）



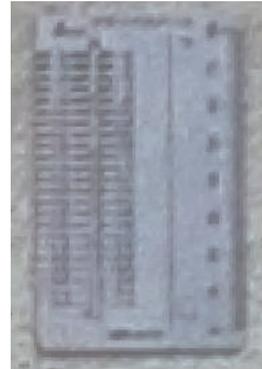
通常写真



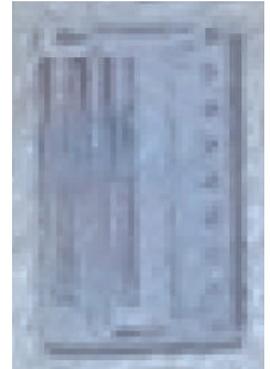
対象物から0.5m



対象物から0.8m



対象物から2m



対象物から4m

写真2 市販ドローンを飛行させた状態でのクラックスケールの線の太さ（幅）の視認性

画像の解像度により検出できていないものもあり、カメラの撮影条件について検討する必要があることが分かった。

⑤ ひび割れ幅の検出能力の検討

外壁面にクラックスケールを貼り付け、Phantom4 に搭載されたカメラ（画素数：1240 万画素、解像度：4000×3000）によって、線の太さ（ひび割れ幅と仮定する）をどの程度まで認識できるかの確認を行った結果を写真 2 に示す。基準となる写真は写真 2 左側の写真とし、ドローンを飛行させながら、クラックスケールとカメラ間距離を 0.5m、0.8m、2m、4m を維持して撮影を行った。本研究で使用したカメラの性能の範囲では、クラックスケール（対象物）から 4m まで離れると幅 1.4mm であっても認識不能であり、対象物からの距離 2m に近づいても線があるのかどうかの判定も難しい。対象物から 0.8m まで近づくと幅 1mm 程度は認識できるが、小数点以下 1 桁の判別は難しい。対象物から 0.5m まで最接近した場合でも、小数点以下 1 桁の幅の判別が画像で認識できるかどうかの程度であった。

なお、Phantom4 は 2016 年に販売されたドローンであるが、ドローン本体に専用カメラを搭載したタイプとして、姿勢制御やジンバルの設置によりブレがなく撮影できること自体が先進技術であるため、ひび割れ観察等の高解像度の撮影は今後の技術革新で解決していくものと推察される。また、プロペラのガードがない状態でドローンを対象物に対して 0.5m まで近づいて安定的に飛行させることは、現実的には困難であり、安全上の問題がある。これより、「Ⅲ ドローンを活用した建物調査診断方法（案）」で記述したように、ドローンを対象物から安全な距離まで離れた状態での撮影技術を構築するか、もしくは対象物に接近しても安全に撮影する技術開発を行う必要がある。

2) 端島（軍艦島）における RC 造建築物の調査

長崎県端島（軍艦島）の RC 造建築物を対象として、ドローン

による撮影を行った事例を紹介する。なお、本撮影においては、著者が公益社団法人日本コンクリート工学会「供用不可まで劣化破損が進行したコンクリート構造物の補修・補強工法に関する研究委員会」の委員として、屋根防水担当として端島に上陸した際の研究活動の一環として得られた成果である。

① 端島の概要

端島炭鉱居住施設は、1916 年に建設された日本初の RC 造高層アパートである 30 号棟を始め、歴史的に価値のある建物群であり、これら構造物が軍艦を彷彿させるシルエットを形作っている。2015 年に国際記念物遺跡会議（イコモス）により、端島（軍艦島）を構成遺産に含む「明治日本の産業革命遺産 製鉄・製鋼、造船、石炭産業」が世界文化遺産に登録された。

② 撮影対象の建物

写真 3 に示すように 3 号棟、16 号棟、30 号棟、65 号棟において、写真 4 の通りドローン（Phantom4）により歴史的遺産の建物の劣化状況の撮影を行った。なお、本調査においては、ドローンが建築物に衝突しないように、対象物から 2.5m 以内は接近しないように衝突防止センサーの距離を設定している。また、ドローンの飛行は目視内飛行のみとし、FPV（First Person View）による PC のモニター画面を確認しながら操縦する方法とした。

写真 5 に 30 号棟の撮影状況を示す。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る。これより、階段から屋根面上がることも危険な状態であり、歩行不能な箇所においてドローンによる調査は効果的である。また、写真 6 に示すように外壁から約 5m 程度まで接近した状態では、地上から見上げてのカメラ撮影と異なり、2 次元平面的にコンクリートかぶり厚さより深い位置でのコンクリート剥落や鉄筋腐食の分布の位置関係が明確に分かる。

写真 7 に 65 号棟の屋根の状況を示す。65 号棟はコの字型をし

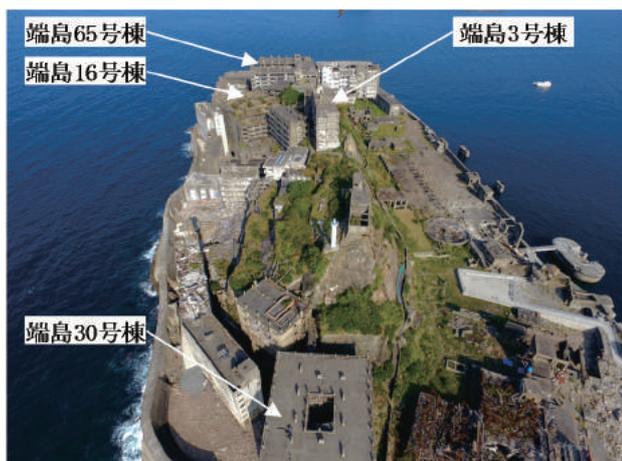


写真3 ドローン飛行による建物全景撮影(高度約100m)

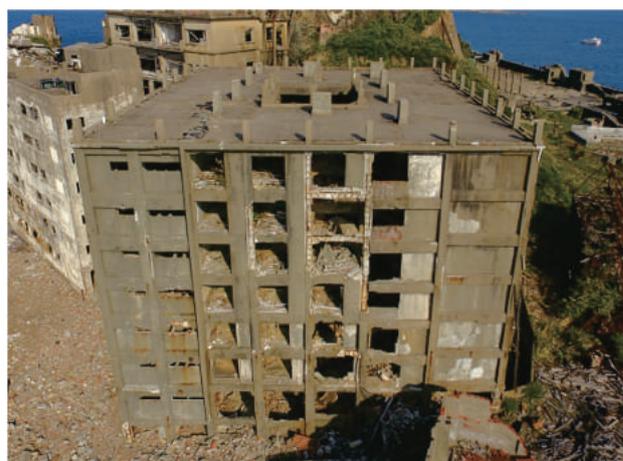


写真5 端島30号棟全景

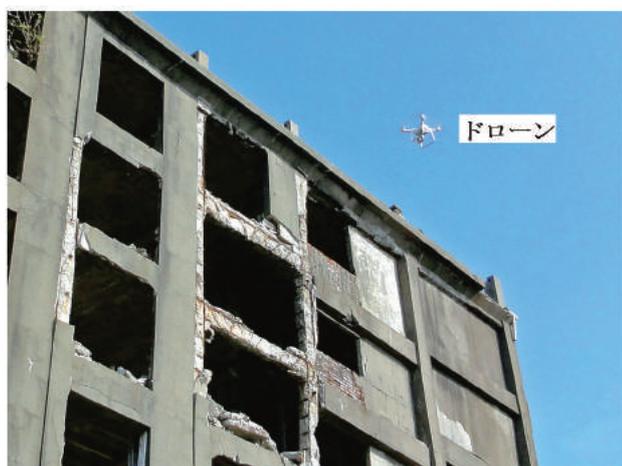


写真4 ドローンによる撮影状況(端島30号棟)



写真6 構造躯体欠損の状況(端島30号棟)

ており、1945年に完成した端島最大のRC造のアパート(鉦員住宅)であり、屋上には幼稚園(保育所)が設けられた施設である。今回、屋上からの屋根調査も実施したが、煙突、滑り台等の遊戯場所、屋根間の仕切り等により屋根の形状が複雑であるため、屋根全体における部位の構成や劣化分布を把握することは困難であった。しかし、ドローンによる上空撮影により、上記問題を解決することができ、どの個所を補修すれば良いかの全体像も把握できた。

写真8に16号棟の屋根の状況を示す。16号棟は他の17、18、19号棟を含めて、日本でも最初期の屋上緑化の事例である。この屋根面においては植栽の分布、カマドの煙突の状況も確認することができる。

写真9に3号棟の外壁の損傷状況を示す。本建築物は端島で最も高い位置に建設されている。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。またパラペットが崩落しているため、外壁破損個所の調査もできない。このため、建物屋上からのドローン対面操縦により外壁面の撮影を行った。この時の操縦により、ドローンによる撮影では機体の位置や進行方向が確認しやすい場所から操縦することが、安全面を考えると大切であることが分かった。

3) (一社) 日本建築学会・UAV-WGの活動と調査事例の紹介

前述の通り、ドローンを活用したサービス関連の市場の拡大が見込まれているが、建築分野におけるドローンを活用した事例は非常に少なく、学会水準において建築保全を目的としたUAV活用に関するWGは存在しない。また、ドローン技術を安全に運用するためには、建築分野の専門技術以外に、航空法や自治体における関連規制、ドローン本体の機械制御並びにソフトウェア技術、電波関連技術、気象学やドローン操縦技術、土木分野における測量技術等、様々な要素を理解することが重要であるため、各専門家から構成される組織体制を構築することが必要



写真7 屋上の構成と損傷状況（端島65号棟）



写真8 屋上植栽の状況（端島16号棟）



写真9 外壁・パラペット破損の状況（端島3号棟）

不可欠と考え、2016年4月に（一社）日本建築学会にて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、幹事：兼松学・東京理科大学教授）を設置した。

本WGはRC造建築物を主な対象領域として、インフラ点検、建物の外壁点検調査、建築構造分野並びに建物被害調査、あるいはドローン飛行の安全と操縦技能のガイドライン作成に携わる専門家から構成されている。

この中で、名古屋工業大学・河辺伸二教授らが開発した打音検査機を装着した外壁タイル検査用ドローンを紹介する⁹⁾。本ド

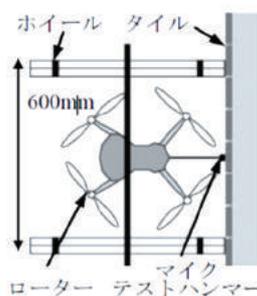


図11 打音検査時の上から見たマルチコプター⁹⁾

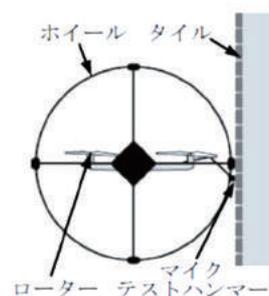


図12 打音検査時の横から見たマルチコプター⁹⁾

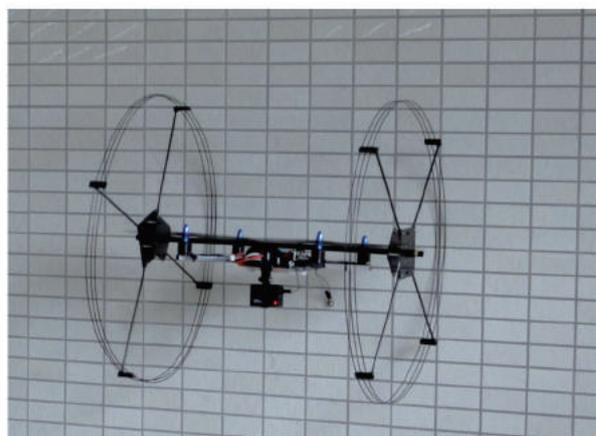


写真10 マルチコプターによる打音検査状況

ローン（参考文献9）の論文では、マルチコプターは、図11と図12に示すように2個のホイールを装着し、テストハンマー、マイク、カメラを搭載したもので、ドローンをホイールで一定の距離を保ちながらホバリングさせ、打診棒等押し付ける機構となっている。このドローンは対象物との距離と上下方向の移動をホイールで調整することができるため、強風時にも安定的に計測できるものと考えられる。

V 建築分野においてドローン活用に必要な事項

建物外壁変状を対象とした調査において考慮すべき事項をまとめ表4に示す。ドローン活用において有利な点は、原則として人の目の届きにくい、あるいは調査者が対象物に近づくことができない箇所となる。外壁であれば高層建築物が対象となり、屋根であれば勾配屋根等が該当する。

コスト面から比較すると、業務用として使用可能と思われるドローンは、空撮による調査であれば民生用で十数万円の価格帯であり、特殊な装置や重量物を搭載する場合には数百万円程度となる。

ドローンを活用する上で最も懸念する事項は、ドローンの墜

表4 建物外壁変状を対象とした調査で考慮すべき項目

評価項目	人		人+ ドローン	ドローン飛行		
	足場 なし	足場 あり	ワイヤー ロープ	マニュアル		自律 制御
				近接	空撮	
対象建物	低層	高層	低層～高層			
コスト	○	×	○	○	○	○
安全性(人命)	○	○	△	×	×	△
プライバシー	○	○	×	×	×	×
調査 対象	建物全体	×	○	△	×	○
	建物部位	△	○	○	△	○
	建物細部	○	○	△	○	△

○：メリット、△：状況に依存、×：デメリット

落に対する安全性の確保である。ドローンの墜落要因は、操縦者の人為的ミスとドローン自体の問題の二つに大きく分けられるが、ドローンを空中で飛行させている限り、ドローンは墜落するものとして予防策を考えておくことが重要である。ドローンの墜落対策について、現実的な方法は本体にドローンリール(ワイヤーロープ)等を取り付けて、ドローンの飛行経路を制御することが挙げられる。ドローンの飛行時間は短時間であるため、ワイヤーの代わりに有線ケーブルにして常時電源供給する事例もある。また、完全無人化による自律型ドローン技術による方法がある。予め設定した飛行ルートに沿ってドローンを飛行させ無人で調査し、万が一の対策として衝突回避機能等を具備して安全策を講じるなど、先進技術による解決策である。さらに進んだ技術として人工知能(AI)を搭載したドローンにより、効果的な飛行ルートを計算して飛行する方法等も提案されている。ただし、現実的には、人とドローン技術の両方からフェイセール機能を働かせることが、ドローンの墜落の危険性を減らすことができると考えられる。

建築物の点検において、居住者や近隣住民への配慮は最も重要な事項である。ドローンの飛行によりカメラ撮影の有無に関わらず、プライバシーの問題が発生する可能性がある。また、ドローン飛行時のプロペラの回転音による騒音問題の対策も検討する必要がある。住民に対して、通常の点検業務以上の調査点検計画や安全管理対策への説明を行うことが求められる。

建物調査の対象範囲について、調査する水準に応じてドローンの使い分けをすることが現実的であると考えている。図7の建物調査診断方法(案)に従うと、予備調査での建物全体の空撮では、カメラの解像度とドローンの安定的飛行の有無によりドローンを選定し、対象物に近接撮影する場合においては、写真10のような対象物に接触しても安全なドローンを活用するなどである。現在、ホビー用から業務用まで様々なドローンが開発

されており、建築物診断の水準に応じてドローンの要求性能を決めるガイドライン等が必要になると考えている。

VI おわりに

建築分野でもドローン技術の活用が検討され始めているが、ドローンを安全に飛行させるためには産官学の連携を図り、建築だけでなく異分野の関係者と協働して取り組む組織体制を構築すること、そして地道にドローン飛行の実証実験を重ねて問題を解決していくことが重要となる。また居住者・住民目線で建築物へのドローン活用を第一に考えることが大切であり、人と先進技術のあり方についても検討が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 平成28年度 建築基準整備促進事業、
<http://www.mlit.go.jp/common/001131874.pdf>
- 2) 経済産業省、戦略分野の検討「安全に移動する」(討議資料) 平成28年9月13日、
http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/shin_sangyoukouzou/pdf/009_07_00.pdf
- 3) 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2016、インプレス総合研究所、2016
- 4) 首相官邸 - 政策会議、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/kogatamujinki/kanminkyougi_dai4/siryou3.pdf
- 5) 首相官邸 - 内閣府地方創生推進事務局 国家戦略特区、
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/tiiki/kokusentoc/>
- 6) 福島イノベーション・コースト構想、
<http://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/list275-1006.html>
- 7) 国土交通省 i-Construction、
http://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000028.html
- 8) 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
- 9) 河辺伸二、渡辺正雄、中島圭二、伊藤洋介：ホイール付マルチコプターを用いた外壁タイル仕上げの打音検査、日本建築学会大会学術講演梗概集、A-1、pp.983-984、2016