

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：82113

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04348

研究課題名（和文）建築狭所空間の点検調査を可能とするマイクロドローンの技術開発と社会実装

研究課題名（英文）Technological development and social implementation of micro-drones for inspection and investigation in narrow spaces within buildings

研究代表者

宮内 博之（Miyauchi, Hiroyuki）

国立研究開発法人建築研究所・材料研究グループ・首席研究員

研究者番号：40313374

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）： 建築狭所空間における調査の省力化を目指し、マイクロドローンの飛行性能や撮影技術の手法を提案した。実建物内での飛行実験により、マイクロドローンによる飛行調査は、狭い空間や倒壊の危険性がある建物の調査に有効であった。また、模擬空間モデルを用いた実験から、産業用マイクロドローンは撮影精度、ドローン制御、継続利用性の点でホビー用マイクロドローンよりも優れており、送信機とドローン間のデータ遅延がなく、衝突等の事態においても継続して利用できることを確認できた。また、「建築狭所空間ドローン利活用実施ガイドライン(案)・同解説」を作成し、マイクロドローンの活用に向けた環境整備を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義については、建築狭所空間での調査方法としてマイクロドローンの活用が期待される中、実建物内部や模擬狭所空間を利用して、各種マイクロドローンの飛行性能や撮影性能を比較・検証し、ドローン開発や新たな調査方法への展開の可能性を探ると共に、建築分野での初めてのベンチマーク研究としての価値を創出したことである。また、社会的意義としては、建築狭所空間での調査の省力化と安全利用を目的とし、「建築狭所空間ドローン利活用実施ガイドライン(案)・同解説」を作成し、マイクロドローンの活用に向けた環境整備を行い、技術の普及活動を実施したことが挙げられる。

研究成果の概要（英文）： To achieve labor-saving in inspections within narrow architectural spaces, we proposed techniques for enhancing the flight performance and photographic capabilities of micro-drones. Flight experiments conducted inside actual buildings demonstrated that micro-drones are effective for surveying narrow spaces and buildings at risk of collapse. Additionally, experiments using simulated spatial models showed that industrial micro-drones outperform hobbyist micro-drones in terms of imaging precision, drone control, and operational sustainability, with no data delay between the transmitter and drone, enabling continued use even in collision scenarios. Furthermore, we developed the "Guidelines for the Utilization of Drones in Narrow Architectural Spaces (Draft) & Commentary," and prepared the environment for the utilization of micro-drones.

研究分野：ドローン

キーワード：マイクロドローン 建物調査 狭所空間 操縦 電波 人材教育

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ドローン分野では屋外使用を目的として、航空法等の法令、機体開発、活用のガイドライン制定などの環境整備が行われている。例えば、首相官邸政策会議「小型無人機におけるドローン飛行のロードマップ」の中で、2022年には都市部においてドローンの飛行を実施する体制を整備する達成目標を掲げられ、建築分野においても建物の点検調査等を含めたドローン活用の基盤の整備が必要と考えられた。また屋内空間については2020年にプラント点検などの屋内の大きな空間を対象としたドローンの導入と活用がスタートした。

上記背景とともに、建築分野については、外壁点検調査へのドローンの活用などの屋外での利用以外に、建物屋内において人が確認・入れない建築狭所空間（天井、床下等）は点検調査が困難な場所が多く、手のひらサイズのマイクロドローンの適用が注目されている。しかし、航空法適用除外となる屋内の建築狭所空間においては、ドローン活用の整備がされていない状況であった。また、屋外でのドローン適用と異なる課題（非GPS環境、機体の小型化、飛行制御など）を解決する必要があった。これより本研究では建築狭所空間を対象にしたドローン利活用のプラットフォームを構築する着想に至った。

2. 研究の目的

本研究は建築狭所空間における点検調査の省力化を図るため、マイクロドローンの各種飛行性能と点検調査に必要な撮影技術等の手法の提案を行い、最終的には建築狭所空間点検用ドローン活用ガイドラインを提示し、マイクロドローンの社会実装を行うことを目的とした。

具体的には、次の項目について検討をした。

- ・マイクロドローンの飛行安定性とカメラ撮影精度の検証
- ・狭所模擬空間モデルの製作とそのモデルに対するマイクロドローンの飛行性能評価
- ・建築狭所空間点検用ドローン活用ガイドラインの作成

なお、本研究では事前に日本建築ドローン協会で行った表1のアンケート調査を踏まえて、屋根裏を対象活用空間とし、懸念事項として挙げられたバッテリー回収・プロペラガードの安全性、課題として挙げられた通信技術・操縦技能などの課題を踏まえて、研究計画を立て実証実験を進めることとした。

表1 マイクロドローンの活用と課題のアンケート結果

順位	活用方法	安全性への懸念事項	課題
1位	屋根裏点検(33件)	バッテリー回収(8件)	通信技術(6件)
2位	床下点検(24件)	プロペラガード等安全性(5件)	操縦訓練(4件)
3位	EV設備点検(14件)	使用用途(2件)、機器の課題(2件)、法律(2件)、操縦技能(2件)	自動飛行(3件)、回収不能(3件)、知識・安全等(3件)

3. 研究の方法

3.1 マイクロドローンの飛行安定性とカメラ撮影精度の検証

本研究では人が立ち入ることができない軍艦島にあるRC造建物を対象とし、ドローンを用いて建物内の床や階段の崩落、柱の損傷などの状況確認、及びドローンの飛行性能を検証した。ドローンには、表2に示す非GPS環境下でも姿勢制御ができ、安定した飛行が可能な3機種を用

表2 使用したドローンとカメラ仕様

ドローン	接触飛行	FPV操縦方法	カメラ
A	不可	タブレット映像	動画
B	可	ヘッドマウントディスプレイ	動画
C	可	ヘッドマウントディスプレイ	360度カメラ動画



写真1 ドローンBによる建物内部調査と撮影状況

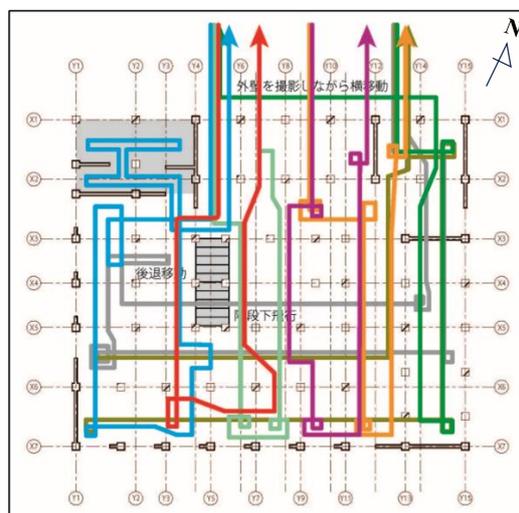


図1 ドローンBによる飛行経路(屋内平面図)

いた。調査においては、操縦者が送信機に取り付けられたタブレットやヘッドマウントディスプレイでFPV画像を確認しながら動画の撮影を行った。なお、建物内部の把握のためには、4面それぞれの柱の状況や天井および床の状況を様々な角度から確認する必要があるため、飛行経路については内部を格子状に移動するよう事前に計画した。

写真1にドローンBの飛行による屋内内部調査の様子と撮影状況を、また図1にはドローンBで飛行した経路をフロア図上に示す。ドローンBの電波は離陸地点から最も離れた35m先でも途切れることが無く、フロア全体をくまなく撮影することができた。飛行は8回で完了し、合計時間は49分だった。一方、ドローンAについては離陸地点から10mを超えた辺りから映像伝送が乱れ始めたため、この時点でそれぞれの飛行を中止した。また、ドローンCについては、1度目の飛行終了後に風速5~6m/s程度の風が吹き始め、飛行が困難となった。これより、屋内におけるドローンの適用については、映像伝送、風、そして対象物への衝突の可否などの環境条件に影響を受けるため、調査に適したドローンを選定することが重要と考えられた。

3.2 狭所模擬空間モデルの製作とそのモデルに対するマイクロドローンの飛行性能評価

(1) 模擬空間モデルの概要

本研究では、建物屋内の狭所空間を模した標準モデルを用いて、マイクロドローンの性能検証をするために、図2に示す屋内狭所模擬空間モデルを製作した。本モデルはマイクロドローンの飛行難易度を変数として、飛行レベル1：屋内居室空間（高さ3m程度）、飛行レベル2：明所・模擬空間モデル、飛行レベル3：暗所・模擬空間モデルの3つの水準を設定している。狭所空間モデルは、縦2m×奥行き2m×高さ×2mのサイズとし、空間モデル内にクラックスケール、疑似ひび割れ、錆汁の写真を貼付した。ドローンには、(A)ホビー用マイクロドローンと(B)産業用マイクロドローンを用いて飛行性能と撮影性能の検証実験を行った。

(2) マイクロドローンの性能検証結果

操縦上級者による模擬空間モデル内での(B)産業用マイクロドローンの飛行状況を写真2に示す。その時のマイクロドローンによる性能・結果と判定を表3に示す。比較項目は撮影精度、ドローンの制御、ドローンの継続利用性に大分類し、各項目において詳細な評価項目に分けて(A)と(B)のマイクロドローンの性能を判定した。(B)産業用は全体の評価として、(A)ホビー用に比べて狭所空間におけるマイクロドローンの飛行に必要な性能を多く具備している。特に、高解像度カメラを具備し、ドローン即時制御、電波干渉に対する対応、そして狭所空間内での衝突や再離陸などについて対応が可能である。重要な項目として、(B)産業用はマイクロドローンの操縦に関わるFPV画像の遅延がないため、前述の飛行レベル3でも飛行可能と推察される。

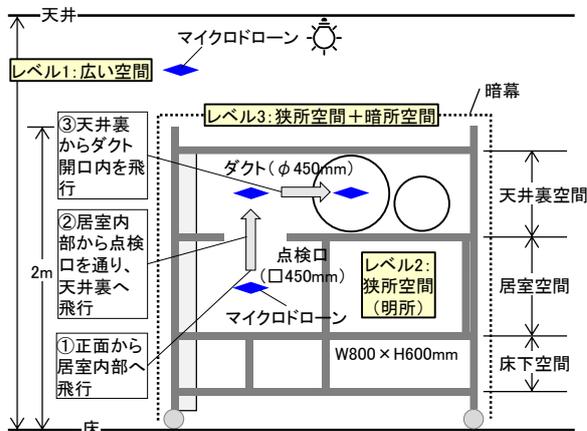


写真2 マイクロドローンの飛行状況

図2 狭所模擬空間モデル略図と飛行ルート

表3 マイクロドローンの性能・結果と判定

比較項目		結果	
大分類	小分類	(A)ホビー用マイクロドローン	(B)産業用マイクロドローン
撮影精度	カメラの性能	○:静止画:5MP ×:動画720P	×:静止画 ○:動画4K
	ライトの有無	×:ライトなし	○:LEDライト付
ドローン制御	FPV画像遅延	×:0.13~0.15秒	○:遅延なし
	操縦反応	×:遅い	○:速い
	画像遮断リスク	△:デジタル方式	○:アナログ方式
ドローンの継続利用性	電波干渉対策	○:送信機/画像伝送2.4GHz	△:送信機2.4GHz/画像伝送5.7GHz
	衝突時	×:飛行停止	○:継続飛行可能
	再離陸	×:狭所で不可	○:再離陸可能
	裏返し復帰	×:不可能	○:可能
	地上走行	×:不可能	○:可能

3.3 建築狭所空間点検用ドローン活用ガイドラインの作成

建築分野においてマイクロドローンのルールを作る必要があり、建築狭所空間ドローン利活用WG（主査：宮内）が中心となり、共同研究機関である日本建築ドローン協会において「建築狭所空間ドローン利活用実施ガイドライン(案)・同解説」を作成した。本ガイドラインでは、建築研究所でのマイクロドローンの飛行実績や結果を踏まえて内容が検討されている。本ガイドラインでは産業用マイクロドローンを建築狭所空間で利用するうえで、関係者に幅広く安全に利用できるように、実施組織の構築、マイクロドローン点検・調査実施計画及び飛行計画の立案、事前準備、点検・調査の実施、安全管理等の業務の標準を示している。本ガイドラインの位置付けとしては、今後、各建築部門において実践的なマニュアル等が制定された際の共通仕様書としての役割を担うことを想定している。

本ガイドラインの適用範囲について、図3に示すとおり多岐にわたる。つまり、マイクロドローンの活用範囲は非常に広い。これより、本ガイドラインは、発注者、マイクロドローン点検・調査者、マイクロドローン飛行管理責任者及びドローン事業者等の立場の中で、現場環境や業務形態に応じて、流動的にマイクロドローンを利用できるように配慮している。

1.3 適用範囲

a. ガイドラインは、以下に掲げるマイクロドローンを利用した建築狭所空間の点検・調査において、マイクロドローンを利用する場合に適用する。

- 1) 建築生産: 建築施工管理、施工の情報化等の確認
- 2) 建築点検調査: 定期的・定期・臨時点検、補修や改修の実施に際して行われる調査
- 3) 災害: 地震、火災、水災などの被災時に緊急に実施される点検・調査あるいは救助等
- 4) 建築構造: 耐震診断調査や劣化調査、天井脱落対策防止調査など、状態把握のために随時行われる調査
- 5) 建築設備: 空調、衛生、給排水、電気、ガス等の調査
- 6) 建築意匠: 建築の空間の把握、設計イメージ等に利用
- 7) 防犯: 建築物の受動的防犯と能動的防犯に利用
- 8) 情報システム: 測定方法、取得したデータの分析や活用方法等への利用
- 9) 専門技術者の立ち会いのもとで行われる臨時点検
- 10) その他、マイクロドローンが適用可能な空間

b. 屋外空間や航空法に関連する点検・調査は、ガイドラインの適用範囲外とする。

c. マイクロドローンによる点検・調査の範囲として、ガイドラインでは事前調査から調査結果までとする。

図3 建築狭所空間ドローン利活用実施ガイドライン(案)・同解説の適用範囲

4. 研究成果

本研究で得られた成果を以下に示す。

(1) マイクロドローンの飛行安定性とカメラ撮影精度の検証

実建物の屋内空間を利用して、マイクロドローンによる調査を行った。マイクロドローンは狭い空間での飛行や、倒壊の危険性の伴う建物の調査に有効であることが示された。また、各メーカーが提供している小型ドローンの仕様や性能によって、飛行の安定性や得られるデータの品質が変わってくることも確認できた。

(2) 狭所模擬空間モデルの製作とそのモデルに対するマイクロドローンの飛行性能評価

屋内狭所空間を模した空間モデルを製作し、飛行レベルに応じた実証実験を行った。5.7GHz帯・産業用マイクロドローンは、撮影精度、ドローン制御、ドローンの継続利用性の観点からホビー用マイクロドローンより性能が優れており、特に送信機とドローン間でのデータ遅延がなく、衝突等に対しても継続利用でき、ダクト内でも安全に飛行可能であった。

(3) 建築狭所空間点検用ドローン活用ガイドラインの作成

共同研究機関と協力して、「建築狭所空間ドローン利活用実施ガイドライン(案)・同解説」を作成し、マイクロドローン活用に関わる環境整備を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 宮内博之, 二村憲太郎	4. 巻 02-3
2. 論文標題 屋内狭所空間調査におけるマイクロドローンの活用と性能検証	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 第20回建設ロボットシンポジウム	6. 最初と最後の頁 8page
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 宮内博之	4. 巻 vol.3, No.3
2. 論文標題 建築分野におけるドローンに係る基盤開発と建築物点検・調査へのドローン活用	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 次世代移動体技術誌	6. 最初と最後の頁 27-42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 北村亮, 宮内博之, 二村憲太郎	4. 巻 材料施工
2. 論文標題 建築狭所空間モデルを利用したマイクロドローンによる飛行性能と調査検証実験	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 351-352
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 宮内博之, 二村憲太郎	4. 巻 なし
2. 論文標題 ドローンによる建築物調査のための環境整備と研究開発	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 第8回韓国中国日本防水Symposium資料集	6. 最初と最後の頁 77-84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 宮内博之
2. 発表標題 屋内狭所空間におけるマイクロドローンの活用と課題に関する調査
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮内博之
2. 発表標題 ドローン技術の動向
3. 学会等名 日本建築学会大会研究協議会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮内博之、二村憲太郎
2. 発表標題 屋内狭所空間調査におけるマイクロドローン産業基盤の創成
3. 学会等名 第23回建築の自動化技術シンポジウム
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------