

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04708

研究課題名（和文）建築分野におけるドローン活用のための建築電波環境の研究

研究課題名（英文）Research on architectural environment for drone in the architectural field

研究代表者

河邊 伸二（KAWABE, Shinji）

名古屋工業大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：20252314

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：ドローンは、建設、農業、測量分野と様々な分野で使用され、利用・活用範囲が近年急速に拡大している。土木分野においては測量や災害調査、点検と急成長している。一方、建築分野も、施工管理や建物調査・点検に活用され始めている。建築分野でドローンを安全に利用・活用するにおいて、都市部での電波環境を把握することは重要である。

また、外壁タイル仕上げの打音検査には、安価、迅速、正確性が求められている。ドローンを活用して、外壁タイル仕上げの全面打音検査が可能となれば、多くの費用や時間を省略することができる。壁面接触型ドローンは、積極的に建築壁面にドローンを接触させる機体であり、建築壁面の近傍の測定が可能である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

建築分野におけるドローン活用のための建築電波環境の研究は、建築学（建築材料学と建築施工学）、建築電磁環境、ドローンの知識の融合である。研究遂行に当たり、壁面接触型ドローンを活用する。壁面接触型ドローンは、積極的に建築壁面にドローンを接触させる機体であり、建築壁面に安定した状態で位置を保つことが可能である。この機体は、名古屋工業大学オリジナルであり、今後も積極的に活用可能である。ドローンに高機能な付加価値を付けることで、ドローン市場の日本の国際競争力が増すことになる。建築の外壁検査、ドローンの活用、建築空間の電波環境の融合の研究は類をみないことから、最先端の科学研究であると確信する。

研究成果の概要（英文）：Drones are used in a variety of fields, including construction, agriculture, and surveying, and the scope of their use and application has been rapidly expanding in recent years. The civil engineering field is rapidly growing with surveying, disaster investigation, and inspection. Meanwhile, in the construction field, it is also beginning to be used for construction management and building inspections and inspections. In order to safely use and utilize drones in the construction field, it is important to understand the radio wave environment in urban areas. In addition, hammering sound inspection of exterior wall tile finishes is required to be inexpensive, quick, and accurate. If a drone can be used to conduct a full-scale hammering inspection of exterior wall tile finishes, a lot of cost and time can be saved. A wall-contacting drone is a device that actively brings the drone into contact with a building wall, making it possible to measure the vicinity of the building wall.

研究分野：建築材料・施工

キーワード：ドローン 壁面接触型ドローン 外壁調査 FFT分析 ウェーブレット変換

1．研究開始当初の背景

ドローンは、建設、農業、測量分野と様々な分野で使用され、利用・活用範囲が近年急速に拡大している。土木分野においてドローンの利用が拡大しており、測量や災害調査、社会インフラ点検と急成長している。一方、建築分野も、施工管理や建物調査・点検に活用され始めている。しかし、都市部でドローンを飛行させることが多い建築分野の活用は、他分野ほど発展していない。都市部は人や物が多くドローン墜落時の被害が大きいこと、高層ビルが多く GPS 信号が届きにくいこと、複数のビルの壁面で電波が多重反射してドローンが操縦不可能になること等の障害が多いことが原因である。昨年、建築現場において、建築壁面やクレーンなどにドローンの操縦電波が反射し、予期せずドローンの操縦が不可能に陥る事故が発生した。

建築分野でドローンを安全に利用・活用するにおいて、都市部での電波環境を把握することは極めて重要である。特に、複数の建築物の壁面で電波が多重反射してドローンの操縦が不可能になる現象は緊急に解決する課題である。そこで建築分野におけるドローン活用のための研究を行った。

また、今日、建築基準法第 12 条の定期報告制度により、建築物の所有者等に 10 年に一度の外壁タイル仕上げの全面打音検査が義務付けられている。打音検査は足場やゴンドラの設置が必要であり、多くの費用や時間が所有者等の負担となる。また、打音検査する職人は専門的な知識と経験が必要である。したがって、外壁タイル仕上げの打音検査には、安価、迅速、正確で、誰でもできることが求められている。

一方、ドローンの発展には目覚ましいものがある。このドローンを活用して、外壁タイル仕上げの全面打音検査が可能となれば、多くの費用や時間を省略することができる。また、情報化社会が進展する中で情報伝搬における電波のニーズは急速に増えている。しかし、ドローンを安全に都市部で飛行させるため、建築空間で使用される電波の状態を調査する電波環境の研究は発展途上である。

以上のように、建築の外壁検査、ドローンの活用、建築空間の電波環境の融合の研究は類をみないことから、最先端の科学研究であると確信する。

2．研究の目的

建築分野の、特に人の多い都心部において、ドローンを絶対に墜落させてはいけない安全性の確保はドローンの活用において最重要な項目である。墜落の原因には、操縦スキル不足、機体異常、バッテリー切れ、気象要因などがあるが、近年の自動操縦などのドローンの機体等の発達により、これらの原因は徐々に少なくなっている。

一方で、通信ロストなどの建築電波環境の原因によるトラブルが増えている。多数の建築壁面による電波のマルチパス、フレネルゾーンによる電波の遮蔽、ハイトパターンによる電波の強弱、2.4GHz 帯の同一周波数帯の利用による混信などがある。これらの建築電波環境の様々な障害の原因を検討することで、建築分野におけるドローンの安全な利用・活用が図られる。この結果、ドローンは、建築分野の記録写真の撮影など施工管理の利用や、外壁面の点検、特に足場がかけづらい外壁面の劣化調査に大いに役立つ。

また、現在、建築基準法第 12 条の定期報告制度により、建築物の所有者等に 10 年に一度の外壁タイル仕上げの全面打音検査が義務付けられている。打音検査は足場やゴンドラの設置が必要であり、多くの費用や時間が所有者等の負担となる。また、打音検査する職人は専門的な知識と経験が必要である。したがって、外壁タイル仕上げの打音検査には、安価、迅速、正確で、誰でもできることが求められている。ドローンを活用して、外壁タイル仕上げの全面打音検査が

可能となれば、多くの費用や時間を省略することができる。テストハンマーやへらを用いて外壁タイル仕上げの打音検査により、外壁タイル仕上げの剥離の検出を検討する。

3．研究の方法

研究遂行に当たり、二輪型ドローンを活用した。二輪型ドローンは、積極的に建築壁面にドローンを接触させる機体であり、建築壁面に安定した状態で位置を保つことが可能である。この機体は、名古屋工業大学オリジナルであり、本研究にも積極的に活用可能である。二輪型ドローンは、ブレードが8枚、両側にホイールを2個有する機体である。マイク内蔵テストハンマーと録画カメラを搭載する。

本研究では、二輪型ドローンに、2450MHz用受信アンテナを搭載し、建築空間の電波を測定した。また、テストハンマーや軽量のへらをホイール付きドローンに搭載して、外壁タイル仕上げの打音検査を行い、打音の周波数分析の結果より、外壁タイル仕上げの剥離の検出の可否を検討した。

4．研究成果

本研究は、建築電波環境の研究と、ドローンの安全運用の研究の融合である。さらに建築材料の研究と組合せ、建築物の壁面や屋上の材料の電波特性を把握することにより、ドローンにおける建築電磁環境の安全性を向上できるとした。

2019年度は、1)空間の電波環境を測定できるドローンの開発と、2)ドローンの操縦に影響を及ぼす可能性がある電波の1つとして、ドローンの送信機から発信される操縦電波と建築壁面による操縦電波の反射波の合成波である定在波の測定を行うことを目的とした。この結果、下記のことが分かった。

2450MHz用受信アンテナをドローンに搭載するためには、軽量化・小型化、指向性、精度の検討が不可欠である。軽量型スペクトラムアナライザ、小型パイコニカルアンテナ、スティックPC、モバイルバッテリーをドローンに搭載した。これらの総重量は約680gであった。ドローンを実際に飛行させた。

ドローンに受信アンテナと軽量型スペクトラムアナライザを取り付けた。送信機のアンテナを鉛直とし、金属板と送信機のアンテナの距離を2000mmで固定し、送信機から操縦電波を発信した。金属板と受信アンテナの距離を2mmずつ移動し、電界強度の測定を行い、定在波を求めた。

周波数2.45GHzと2.44975、2.45025GHzの3つの電界強度を平均した値と、金属板からの受信アンテナの距離の関係を見出した。極大値は周波数2.45GHzの電波の半波長に近い60mmごとに現れた。

シグナルジェネレータを用いた電界強度の測定と同様、金属板に近いほど定在波の電界強度は極大値、極小値共に小さくなった。また、金属板からの距離が1100mm以下のとき、1320mm以上に比べて波形は大きくなり、定在波の極大値と極小値の比は大きくなった。

ドローンが建築壁面に近づくほど、反射波は大きくなり、反射波がドローンの操縦に影響する可能性があることが分かった。

2020年度は、都市部のドローン利用における建設現場での利用に注目し、建設機械が稼働している場合の建設現場の電波環境の測定を行った。ドローンは、建築物の外壁調査や建設現場の空撮・記録など都市部を飛行させることも多い。ドローンを操縦する電波は、都市部では他の電機機器や住宅・ビルなどの建造物による反射など、周辺環境からの影響を受ける。これらにより

電波干渉を引き起こし、操縦不能に陥ることも考えられる。ドローンを利用するにあたり、飛行させる場所の電波環境を知っておくことは不可欠である。

今回、クレーン、トラックアジテータ、コンクリートポンプ車の稼働中、及び柱溶接時の測定を行った。この結果、以下のことが分かった。

ドローンの利用周波数帯である 2.40～2.50GHz において、クレーン稼働時には、エンジン停止時に比べ、垂直偏波、水平偏波ともに電界強度が大きくなり、その電界強度は旋回時、吊り上げ時、静止時の順に小さくなった。

コンクリート打設時には、コンクリートポンプ車で 2.46～2.48GHz で電界強度が大きくなった。

2.44～2.45GHz 付近で柱溶接時に電界強度が大きくなった。水平偏波は垂直偏波に比べ電界強度はより大きかった。

研究は、おおむね順調に進んでいるが、コロナ禍のため、建設現場にて十分なフィールド測定が行えない状況にあった。

2021 年度は、国土交通省に申請する必要のない 200g 未満のドローンに打音装置を搭載するため、テストハンマーの代わりに軽量なへらを用いて、2 つの周波数スパンの平均音圧レベルの差により疑似浮き部の有無を判定した。

現在、建築基準法第 12 条の定期報告制度により、建築物の所有者等に 10 年に一度の外壁タイル仕上げの全面打音検査が義務付けられている。打音検査は足場やゴンドラの設置が必要であり、多くの費用や時間が所有者等の負担となる。また、打音検査する職人は専門的な知識と経験が必要である。したがって、外壁タイル仕上げの打音検査には、安価、迅速、正確で、誰でもできることが求められている。

今回、ドローンを活用して、外壁タイル仕上げの全面打音検査を行った。この結果、以下のことが分かった。

従来、テストハンマーを用いて外壁タイル仕上げの打音検査を行い、周波数 1000～2000Hz と 4000～5000Hz の平均音圧レベルの差により疑似浮き部の有無を判定した。

テストハンマーを搭載したホイール付きドローンを用いて同様に周波数 2000～3000Hz と 4000～5000Hz の平均音圧レベルの差により疑似浮き部の有無を判定した。

ステンレス板のへらを用いて、周波数 1000～2000Hz と 4000～5000Hz の平均音圧レベルの差が、下地厚さに関わらず健全部と疑似浮き部で 12dB 以上異なるため、下地厚さに関わらず疑似浮き部の有無を判定することができた。

2022 年度は、ステンレス板のへらの最適な寸法と、へらをドローンに搭載した時の外壁タイル仕上げの剥離の検出の可否を検討した。へらの長さを変えてタイル面を擦過し、剥離の検出に最適なへらの長さを決定した。特定したへらの長さを用いて、へらの幅を変えてタイル面を擦過し、剥離の検出に最適なへらの幅を決定した。上記より寸法を決定したへらをドローンに搭載し、剥離の検出を行った。この結果、以下のことを行った。

へらの材質は、SUS430 とし、密度 7.7g/cm³、弾性係数 215GPa である。へらの長さは 20 から 60mm の 10mm 毎、へらの幅は 5 から 15mm の 5mm 毎とした。タイル面擦過時、タイルの欠陥を防ぐため、へらの先端を面取りした。

ドローンは、比較的安価で容易に操作可能な汎用のドローンを用いた。前方にホイールを 4 つ設置するドローン（壁面接触型ドローン）は、壁面接触後の安定した上下移動を可能とした。壁面接触型ドローンには、へらの他に、マイクと小型カメラを搭載した。

へらで疑似浮き試験体の健全部と疑似浮き部を擦過し、その擦過音を録音した。録音した擦過

音を PC ソフトウェアにより FFT 解析した。

2023 年度は、タイル用テストハンマーより軽量で、タイル目地の凹部で生じた段差により反発しにくいへらをドローンに搭載してタイル壁面を擦過し、プロペラ音を含む打音の検出を行った。この結果、以下のことを行った。

打音の時刻歴波形をウェーブレット変換して、スカログラムで表示した。

スカログラムはプロペラ音を含む打音の音圧と時刻成分だけでなく、周波数成分を表示できた。

スカログラムを用いれば周波数成分により打音とプロペラ音を分離し、打音のみの音圧と減衰特性を用いてタイルの剥離診断ができた。

以上、本研究は建築電波環境の研究と、ドローンの運用の研究の融合であった。さらに建築材料の研究と組合せ、建築物の壁面の剥離を調査することにより、ドローンにおける建築分野への応用の可能性を飛躍的に向上できた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1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 田中大貴、伊藤洋介、河辺伸二 | 4. 巻 Vol. 89, No. 817 |
| 2. 論文標題 壁面接触型ドローンによる外壁タイル張り仕上げの打音検査のための FEM 解析を用いた剥離診断の検討 | 5. 発行年 2024年 |
| 3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集 | 6. 最初と最後の頁 247-255 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3130/aijs.89.247 | 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 - |

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 永井晴己、河辺伸二、伊藤洋介 |
| 2. 発表標題 へらと壁面接触型ドローンによる外壁タイル仕上げの剥離の検出 |
| 3. 学会等名 日本建築学会東海支部研究報告集 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 永井晴己、河辺伸二、渡辺 正雄、伊藤洋介、板野遥 |
| 2. 発表標題 異なる材質のへらを用いた外壁タイル仕上げの剥離の検出 |
| 3. 学会等名 日本建築学会東海支部研究報告集 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 板野遥、河辺伸二、渡辺 正雄、伊藤洋介、峰 早知恵 |
| 2. 発表標題 建設機械稼働時におけるドローンの利用周波数帯の電波環境の調査 |
| 3. 学会等名 日本建築学会東海支部研究報告集 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 永井晴己、河辺伸二、伊藤洋介 |
| 2. 発表標題 へらと壁面接触型ドローンを用いた外壁タイル仕上げの剥離の検出 |
| 3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 田中大貴、伊藤洋介、河辺伸二 |
| 2. 発表標題 外壁タイル張り仕上げの反発による剥離検出における衝突時の壁面の変形挙動 |
| 3. 学会等名 日本建築学会東海支部研究報告集 |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 山本純平、伊藤洋介、河辺伸二、田中大貴、永井晴己 |
| 2. 発表標題 小型ソレノイド打診装置のばねのばね定数と自由長が外壁タイル張り仕上げの剥離検出に及ぼす影響 |
| 3. 学会等名 日本建築学会東海支部研究報告集 |
| 4. 発表年 2024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 |
|---------------|---|--|----|
| 研究 分担 者 | 伊藤 洋介 (Ito Yosuke) (00757338) | 名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授 (13903) | |

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|