

## 32. カメラを搭載した小型無人飛行船による高所の目視検査

足利工業大学  
戸田建設（株）  
足利工業大学

○ 仁田 佳宏  
渡壁 守正  
石田 正美

### 1. はじめに

2011年3月に発生した東日本大震災時には、多くの体育館やホール、工場、鉄道の駅および空港で天井板が落下しており、東京都内や宮城県内などでは死傷者も生じている<sup>1),2)</sup>。2012年12月には、支持部の老朽化により、中央自動車道笹子トンネル内で天井崩落事故が発生し、多くの死傷者が生じている<sup>3),4)</sup>。2013年7月には、幸いなことに人的な被害は生じなかったものの、屋内プールの天井が、老朽化により落下する事故も発生している。また、体育館などの照明機材についても、老朽化による落下事故が多発している。天井部材や天井に付随する設備の落下が相次いでいることを受け、文部科学省は「地震による落下物や転倒物から子どもたちを守るために～学校施設の非構造部材の耐震化ガイドブック」を取り纏め、天井部分の点検や耐震化を推奨している<sup>5)</sup>。一方で、体育館や屋内プールなどの屋内運動施設やホール、工場などの天井部分は、天井高が高く、大規模空間となるため、立入るには大規模な足場などを設置する必要などがあり、技術者による安全検査を行い難い箇所となっている。また、建築構造物の照明器具や天井板については、設備機器や非構造部材の扱いであり、構造部材ではないため、目視検査が中心である上、点検頻度が少ないか損傷が視認できる場合を除き行われなことが多いのが現状である。

東日本大震災を契機として、無人化施工技術や無人機（UAV）による被災調査技術などが注目を集めており、建築・土木分野においても様々なロボット技術が活用され始めている<sup>6)・13)</sup>。このような状況のもと、国土交通省は、トンネルや橋梁など技術者が直接検査を行うことが困難な箇所を対象として、ロボット技術を活用した実証実験の公募を行い、2014年10月頃に採択技術の現場検証を行うことを予定している<sup>14)</sup>。合わせて、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構も「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」を公募し、採択課題を選定している。

本研究では、屋内運動施設やホール、工場の天井部分など高所の安全点検を効率よく簡便に行うことを目的として、Wi-Fiカメラ搭載小型無人飛行船による近接目視検査手法を提案し、Wi-Fiカメラ搭載小型無人飛行船も試作する。また、小型無人飛行船の特性や性能を、高所の目視点検を対象とした開発事例が増えつつあるマルチローター機と比較検討する。試作したWi-Fiカメラ搭載小型無人飛行船の有用性は、大学構内の実験棟の天井を対象とする目視検査により確認する。

### 2. Wi-Fiカメラ搭載小型無人飛行船

高所の安全点検を効率よく行うために、Wi-Fiカメラ搭載小型無人飛行船による目視検査を提案する。提案する目視検査では、図-1に示すように係留索を備えたWi-Fiカメラ搭載小型無人飛行船をオペレーターが操船し、点検員がWi-Fiカメラの映像をタブレットで確認し安全点検を行う。係留索は、操縦不能時など異常時に安全に小型無人飛行船を回収するために用いる。

本研究で試作したWi-Fiカメラ搭載小型無人飛行船の寸法は、幅600mm、船体長さ850mm、高さ800mmで、重量は約250gである。試作したWi-Fiカメラ搭載小型無人飛行船を図-2に示す。小型無人飛行船は、省電力性を考慮して、BluetoothデバイスおよびArduinoを搭載しており、PCもしくはAndroid端末を用いて操作を行う。操作は、マニュアル操作であり、図-3に示すようにArduino内のUART機能とデジタル入出力機能により、受信したコマンドに応じて、操船を行う。具体的には、2機のプロペラ付のモーターの正回転と逆回転を制御することで前後進および旋回方向の操船を行い、プロペラを設置したサーボの位置制御により上下方向の操船を行う。また、試作した小型無人飛行船の制御可能範囲は、Bluetoothデバイスの通信可能距離の制約から約20mであり、駆動可能時間は、3.7Vのリチウム充電電池を用いて、約1時間

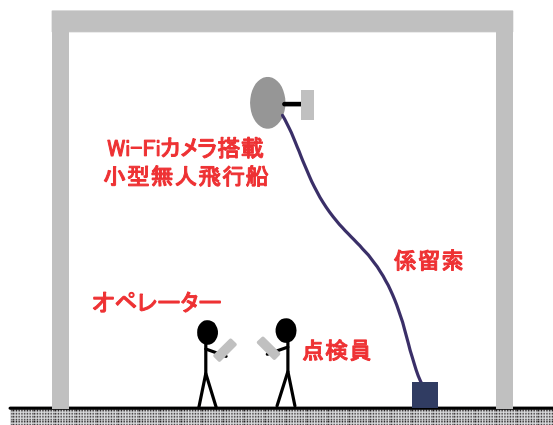
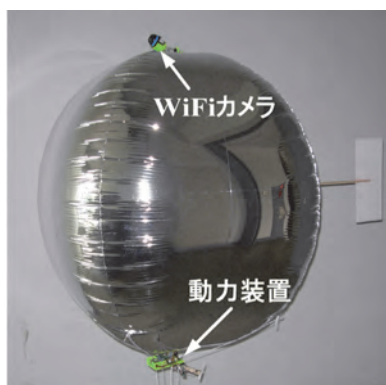
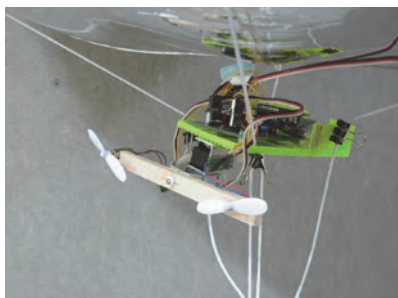


図-1 目視検査の模式図



(a) 小型無人飛行船



(b) 動力装置の詳細

図-2 Wi-Fi カメラ搭載小型無人飛行船

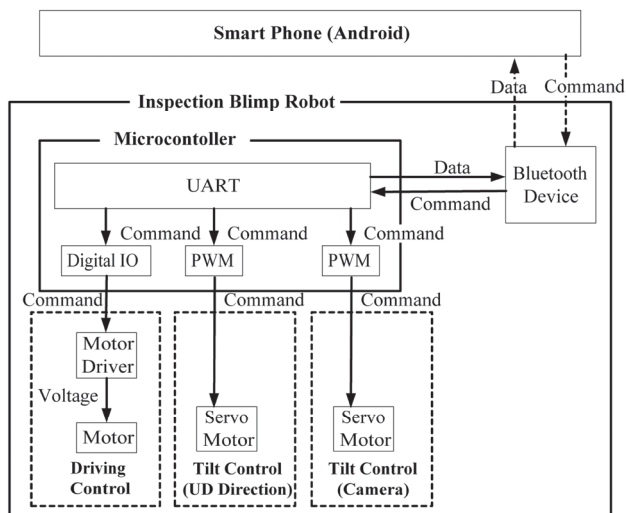


図-3 Wi-Fi カメラ搭載小型無人飛行船の制御フロー程度である。

搭載する Wi-Fi カメラは、利便性を考慮して、専用機器を必要とせずかつ野外でも簡便に使用できるように Android 端末などから画像を確認できるネットワークカメラタイプの 30 万画素の Wi-Fi カメラを採用する。採用した Wi-Fi カメラは小型軽量であるため、カメラ自体にはズーム機能およびチルトパン機能は備わっていない。そこで、ズーム機能については、小型無人飛行船を検査対象に近接することで、パン機能については飛行船の旋回性能で、チルト機能については Wi-Fi カメラが設置されたサーボを制御することで代用する。また、暗所でも鮮明な画像を撮影できるように高輝度 LED も装備している。試作した Wi-Fi カメラ搭載小型無人飛行船の材料費は、Wi-Fi カメラを含めて約 3 万 5 千円程度である。

### 3. マルチローター機との比較

近年、橋梁やプラントなどの高所の目視検査を目的として開発事例が増えつつあるマルチローター機<sup>10) - 13)</sup>と試作した Wi-Fi カメラ搭載小型無人飛行船の特性や性能を比較する。比較は、①積載可能重量、②飛行継続時間、③操作性、④耐風性、⑤落下時の安全性、⑥機体コストの 6 項目について行う。

#### ① 積載可能重量

積載可能重量は、カメラなどの撮影機器や照明機器を積載することを考慮して、可能な限り大きいことが望ましい。マルチローター機は機体により幅はあるものの、大型のものでは最大 10kg 程度まで積載可能である。一方で飛行船は、ヘリウムガスの浮力に依るところが大きく、試作飛行船では約 50g 程度の積載重量が限界であることから、マルチローター機の方が高い性能を示す。

#### ② 飛行継続時間

小型無人飛行船はヘリウムガスの浮力を用いているため、Bluetooth デバイスによる無線通信の電力消費が主であり、飛行継続時間は約 1 時間程度である。一方で、マルチローター機は、モーターの電力消費が大きく、多くの機体で約 15 分から 20 分程度である。

#### ③ 操作性

ジャイロやマイコンなどを搭載することで、マルチローター機は、自動操縦も可能となつてはきているが、近接目視を行うためには、マニュアル操縦が必要である。このマニュアル操縦については、事前に訓練をする必要があり、マニュアル操縦の操作性は高くはない。小型無人飛行船は、マニユ

アル操縦を基本としてはいるが、飛行船自体に浮

表-1 試作飛行船とマルチローター機との比較

	試作飛行船	マルチローター機
積載可能重量	×	◎
飛行継続時間	○	×
操作性	○	△
耐風性	×	○
落下時の安全性	◎	×
機体コスト	○	△

力があることもあり、初心者でも操縦できるほど、操作性は簡易である。

#### ④ 耐風性

飛行船は、一般的に風の影響を受け易く、耐風性はほとんどないのに等しい。飛行船に対し、マルチローター機は機体特性にもよるが、風速 5m/s 程度までの風であれば安定して飛行できるものが多く、耐風性能は飛行船よりも高い。

#### ⑤ 落下時の安全性

マルチローター機は、機体重量が 1kg を超えるものが多く、操縦不能時やローターに損傷が生じた際には、急落下する危険性があるため、落下時の安全性については、事前に考慮する必要がある。落下時の安全性を考慮する必要があるマルチローター機に対して、小型無人飛行船は Wi-Fi カメラを含んだ全重量が約 250g 程度と軽量であるうえ、浮力をヘリウムガスに依っているため、操縦不能時や飛行船部分に損傷が生じた際も、急落下することはほとんどなく、落下時の安全性は高いと考えられる。

#### ⑥ 機体コスト

試作した小型無人飛行船の材料コストが Wi-Fi カメラを含めて約 3 万 5 千円程度であるのに対し、マルチローター機は機体の販売価格のみで安いものでも 10 万円程度であることから、機体コストについては、飛行船の方がはるかに安価である。

以上、試作した小型無人飛行船とマルチローター機の特性、性能を比較検討した結果を表-1 に示す。表-1 より、機体コストが安価であること、落下時の安全性が高いことから、小型無人飛行船を用いることで、マルチローター機を用いるよりも安価にかつ簡便に高所の近接目視検査を行うことが出来ると考えられる。しかし、積載重量が大きく、高性能な撮影機材が使用可能であることや耐風性が高いことから、屋外を対象とするものや詳細な目視検査については、マルチローター機を用

いた方が有用であると考えている。



図-4 小型無人飛行船の飛行の様子

## 4. 実建物への適用

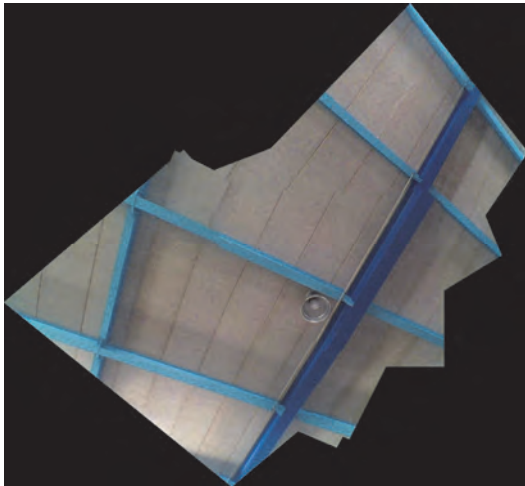
Wi-Fi カメラ搭載小型無人飛行船による目視検査の有用性を確認する目的で、大学構内の実験棟の天井部分の目視検査を行った。目視検査は、無風状態で行い、対象とした実験棟の床から天井部分までの階高は約 10m である。ただし、実験棟の天井に老朽化や損傷は生じていない。実験棟内での Wi-Fi 小型無人飛行船の飛行の様子を図-4 に示す。老朽化部位や損傷部位の検知は、Wi-Fi カメラ搭載小型無人飛行船が撮影した画像をリアルタイムもしくは動画として視認することで確認する。動画による確認においては、撮影した動画よりパノラマ画像を作成することで、天井の全体像の把握を行う。パノラマ画像の作成には、フリーソフトの Microsoft Image Composite Editor<sup>15)</sup> を用いる。約 20 秒間の動画より作成したパノラマ画像の例を図-5(a)に示す。本適用では、Wi-Fi 搭載小型無人飛行船を一定高度で飛行させていないため、パノラマ画像に歪んでいる部分はあるものの、図-5(a)により天井の全体像の把握が可能であることが確認できる。接合部については、近接画像により目視検査を行う。水平ブレースの接合部の近接画像を示した図-5(b)より、接合部の詳細が把握可能であることが確認できる。

以上の結果から、Wi-Fi カメラ搭載小型無人飛行船により撮影した動画をもとに、パノラマ画像の作成と近接画像の抽出を行うことで、足場などを必要とすること無しに、簡便に天井などの高所の目視検査が可能となることが確認できる。

## 5. まとめ

本研究では、屋内運動施設やホール、工場の天井部分など高所の安全点検を効率よく簡便に行うことを目的として、Wi-Fi カメラ搭載小型無人飛行

船を試作し、試作した小型無人飛行船による近接



(a) パノラマ画像



(b) 近接画像

図-5 Wi-Fi カメラ搭載小型無人飛行船による目視画像

目視検査を提案した。提案した検査の有用性は、大学構内の実験棟の天井を対象とした目視検査を行い確認した。提案した Wi-Fi カメラ搭載小型無人飛行船による目視検査は、足場などを組むことなく、高所の近接目視が可能となることから、実用性は高いと考えられる。また、屋内環境においては、既往研究で多くの実績のあるマルチローター機と比較しても、試作した Wi-Fi カメラ搭載小型無人飛行船は、安価、軽量であり、落下時の安全性も高いことから、有用性はあると考えている。今後の研究課題として、次の2点を考えている。

(1) 位置情報把握について

目視点検する際には、自動で老朽化や損傷の位置を把握できることが望ましい。しかし、屋内では、GPS の使用は難しいため、点検時のみ機器を設置するような簡便な位置情報把握システムの開発が必要と考えている。

(2) 画像処理について

提案した目視検査では、技術者が映像を視認することで、老朽化や損傷を検知しているが、実

用性を考慮すると、画像処理を用いて自動的に検知できると利便性が高いと考えている。従って、画像処理による老朽化や損傷の自動判別手法の開発も必要である。

参考文献

- 1) 日経アーキテクチュア(編集): 東日本大震災の教訓 都市・建築編 覆る建築の常識, 日経BP社, 2011
- 2) 川口健一・大場康史・中楚洋介: 2011年東北地方太平洋沖地震による空港ターミナルビル内天井落下及び天井衝撃力の推定, 日本建築学会技術報告集, Vol.39, pp.789-793, 2012
- 3) 国土交通省: 中央自動車笹子トンネル天井板落下事故関連情報, [http://www.mlit.go.jp/road/road\\_tkl\\_000033.html](http://www.mlit.go.jp/road/road_tkl_000033.html), 2012
- 4) 国土交通省: 報道発表資料 トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会 報告書について, [http://www.mlit.go.jp/report/press/road01\\_hh\\_000363.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_000363.html), 2013
- 5) 文部科学省: 地震による落下物や転倒物から子供たちを守るために, ~学校施設の非構造部材の耐震化ガイドブック, 2010
- 6) 森山和道: 東日本大震災・福島原子力災害に対するロボット, ロボコンマガジン2011年7月号, pp.19-21, 2011
- 7) 井上猛雄: 災害とロボット, オーム社, 2012
- 8) 田中幸悦: What's New モニタリングロボット, 建築設備士, Vol. 43, No.2, pp.44-46, 2013
- 9) 仁田佳宏・西谷章・渡壁守正・稲井慎介・岩崎充実: ワイヤレスカメラを用いた天井ふところ内の損傷目視検査, 計測自動制御学会論文集, Vol.49, No.7, pp.733-735, 2013
- 10) (株) 0: プラシレスジンバル【1.0Kgクラス】屋内プール撮影サンプル(照明無し), <http://www.youtube.com/watch?v=Suaw11aJqKM>, 2013
- 11) 久保竜志・木村信隆・五十嵐祐貴: 高速道路のさらなる「安全・安心」確保に向けた取組み スマートメンテナンスハイウェイ(SHM)構想一, 土木施工, Vol.55, No.8, pp.145-149, 2014
- 12) 西山章彦・茂木正晴・藤野健一: 小型カメラを搭載したUAVの橋梁点検に関する適応性検証について, 第13回建設ロボットシンポジウム論文集, pp.331-336, 2012
- 13) 井上公・内山庄一郎・鈴木比奈子: 自然災害調査研究のためのマルチコプター空撮技術一, 防災科学技術研究所研究報告, Vol.81, pp.61-98, 2014
- 14) 国土交通省: 次世代社会インフラ用ロボット技術・ロボットシステム(公募), [https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei\\_constplan\\_fr\\_000023.htm](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_fr_000023.htm), 2014
- 15) Microsoft Research: Microsoft Image Composite Editor, <http://research.microsoft.com/en-us/um/redmond/groups/ivm/ICE/>, 2011