津波避難時の誘導を目的としたUAV活用方法の検討

Applicability of unmanned aerial vehicle for navigation tool of tsunami evacuation

○杉安 和也¹, 高橋 秀幸², 横田 信英², 片山 健太³ Kazuya SUGIYASU¹, Hideyuki TAKAHASHI², Nobuhide YOKOTA², Kenta KATAYAMA³

1東北大学 災害科学国際研究所

International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University 2 東北大学 電気通信研究所

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University 3 東北大学大学院 情報科学研究科

Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

In order to accelerate the evacuation behavior until the arrival of tsunami, It's better to visible the goal of evacuation place or building from present location. However almost recovery area located coastal zone is hardly to find directly it due to prevent the sea wall, housing and some structures. One of solution, authors are challenging to use UAV to navigate the evacuae for the evacuation goal under the escaping phase. And now we are conducting the demonstration experiment at Iwaki, Fukushima the affected place of 2011 Great East Japan Earthquake and 2016 Fukushima Earthquake and Tsunami. This paper will report to which condition setting(Land use, building density and equipment of UAV) is better to use UAV under the escaping phase.

Keywords: UAV, Great East Japan Earthquake, 2016 Fukushima Earthquake and Tsunami, Iwaki, Fukushima

1. はじめに

地震発生から津波到達までの避難行動を迅速化させる ためには、避難者が現在地からの避難目標地点(例えば 高台・津波避難ビルや想定浸水域外)をある程度把握・ 視認できていることが望ましい。しかしながら、観光客 や、時には地域住民であっても、発災時の現在位置次第 では、避難誘導看板の整備が不十分であったり、建物密 度が高く、構造物が視界を遮ってしまうことで、避難目 標地点を直視することは難しい場合がある。

筆者らはこの解決策の一つとして、これまでは災害後の被害評価や探索に用いられることが多かった UAV を避難誘導時において活用できないか試行している¹⁾.

避難誘導時での UAV 活用の先行事例としては、仙台市がスピーカーを搭載した UAV により避難広報を行うといった訓練を実施している ²⁾. 一方で筆者者は、音声で誘導する仙台市の取り組みと異なり、UAV に避難誘導サインを取り付け、視認によって避難目標地点に誘導することに挑戦しており、2011 年東日本大震災・2016 年福島県沖地震での津波避難行動が課題となった福島県いわき市を対象に実証実験を行っている。本稿では避難誘導の現場で UAV を用いるための条件や課題について報告する.

2. 研究・開発プロセス

(1). UAV の動作パターンについて

UAV を用いた避難誘導については, UAV の動作パターンに基づくと, まず下記のように場合分けできる.

- ① <u>避難者同行パターン</u>: UAV が待機場所から避難者の 現在位置まで移動し, UAV と避難者が同行して, 避難目 標地点に向かう.
- ② <u>現地滞在パターン</u>: UAV が待機場所から避難者の現在位置まで移動し、その後、現在位置に留まり、避難者

に避難目標地点までの情報を提供し続ける.

- ※UAV 自身は避難者の現在位置に留まり続ける.
- ③ <u>避難目標地点滞在パターン</u>: UAV が避難目標地点に留まり,周辺の避難者に避難目標地点までの情報を提供し続ける.

※UAV 自身は避難目標地点に留まり続ける.

筆者らはこのうち①と③のパターンを福島県いわき市の沿岸被災地の地形パターンをモデルケースとして取り組んでおり、①の避難者と UAV が同行するパターンはシミュレーション上での動作検証を行っており り、③のUAV が避難目標地点に留まり、情報提供を行うパターンを実機を用いた実証実験を行っている. なお、仙台市での取り組みは②の UAV は避難者の現在位置(沿岸部)に留まり続け、避難情報提供と逃げ遅れた避難者の探索に取り組むものである. 本稿ではこのうち、③の『UAVが避難目標地点に留まり、情報提供を行うパターン』について、検証していく.

(2).対象地の想定について

本研究では、UAV を活用する沿岸部の地形パターンを下記のように想定した.これは本研究の対象地である福島県いわき市内の東日本大震災被災地の一部をイメージしたものでもある.なお、本研究の対象地にはドローン飛行の制限地域にあたる人口集中地区は含まれていない.①住宅地・避難ビル運用・住民主対象パターン

<u>(未災地・原地復興型)</u>:戸建て住宅が分布し,避難目標地点は地区内のアパートや災害公営住宅のような避難ビルもしくは避難タワー等が設けられている地域で,土地勘もある程度有する住民を想定するものである.主に漁村集落の未災地,あるいは限定的な被害に留まり,旧街並みが残る原地復興を行った地域がその対象である.



図 1 UAV 避難誘導の運用想定地パターン ※避難目標地点での情報発信の場合

② 観光地・高台避難運用・観光客主対象パターン

<u>(被災地・集団移転復興型)</u>:沿岸部に海水浴客等の土地勘がない観光客も存在し、沿岸部と住宅地は防潮堤・防災緑地等で遮られており、さらに避難目標地点は復興事業によって新たに設けられた高台の集団移転地を想定したものである.

また、上記のような対象地設定に基づき、避難目標地点 (UAV の直下)と避難者との水平距離は、健常者がおよそ 10 分間で移動できるとされる 500m 以上の距離でも認知が可能であること、UAV の飛行高度としては、津波避難ビルに転用されやすい 4-5 階建てマンション相当の高さ $+\alpha$ として、さらに国土交通省「無人航空機(ドローン・ラジコン機等)の飛行ルール」に基づく周辺の第三者および物件からの安全マージンとして(1)、地盤高から 30m をひとつの目標とした、図 1 はこの運用想定地のイメージである.

(3). 要求される UAV の仕様について

上記までの想定に基づき, UAV 自体の仕様については 以下のような仕様が満たせることが望ましいと考える.

■本体仕様について

- ① 地域の消防団員や役員らによる運用に広がる可能性を 想定し、操作が簡便・比較的普及(価格的に安価である ことを含む)が進んでいるモデルであること.
- ② 災害時の運用を想定し、全天候型であること.
- ③ 状況確認のため, UAV 本体からのリアルタイム動画 送信が可能であること. ・・・等である.

これらの条件のうち、①③については例えば DJI 社製 Phantom シリーズ、②③については DIJ 社製 Inspire シリーズ等があげられるが、本研究ではプログラミング環境と普及状況を勘案し、まずは DJI 社製 Phantom4 での実験を行っている.

■避難者への情報発信手段について

避難目標地点からある程度距離のある沿岸部等へ向けて情報発信をするため、大判印刷した「避難誘導サイン」を作成し、これを UAV に取り付けるための「接続機器(アタッチメント)」の開発・選定に取り組んだ。

- ① 「避難誘導サイン」は直観的にその場所が避難目標地点(避難場所)であることが認知できるデザインであること.
- ② 「避難誘導サイン」の大きさは UAV の安定飛行へ影響を及ぼさない範囲で大きいこと.
- ③ 避難方向(沿岸部→内陸へ)を誘導できるよう、「避難誘導サイン」の表裏で異なる情報開示が可能であること. ・・・等である.

①の「避難誘導サイン」のデザインについては、すでに一般的に浸透しており、一部海外でも採用されている「津波避難ビル」もしくは「津波避難場所」マークを色彩設定(緑・白)も含め、そのまま採用した。文字情報の付記については「避難誘導サイン」自体の大きさにも依存するものの、水平距離で 500m程の距離を取る場合、文字自体の判別は困難となった.

このデザインについてはまずは日中での運用を想定しているが、使用色彩の夜光塗料化や、UAV 自体のペイロードにも依存するものの、LED 等による自光化により全時間帯対応とする余地を残している.

②の「避難誘導サイン」の大きさについては、視認性を高めるためには大きいほど望ましいということになるが、A3 サイズからスタートし、最終的には A0 サイズ (841mm × 1189mm) を目指すこととした。これは標識印刷に使用するプロッター機本体のコストが、最大 A0 サイズ対応機と最大 B0 サイズ対応機で大きく異なるためである。サイン自体の素材も、普通紙、防炎クロス、メッシュ布材と素材を変更して UAV 動作を検証した。

③の避難方向指定については、沿岸部→内陸部(避難目標地点)への移動を促す一方で、内陸部→沿岸部という、浸水域へ近づく移動を妨げる工夫も必要である.具体的には「避難誘導サイン」には裏写りが少ない素材を採用する.あるいは 2 枚の「避難誘導サイン」を装備し、UAV 正面側と背後側で異なる情報掲示を行うといった工夫が必要である.例えばハワイ州で採用されている津波避難標識は「避難場所の外にいる」ことと「避難場所の中にいる」ことを示す2パターンを用いており、これに類する展開の可能性を考慮する必要がある.

これらの仕様検討に基づき,下記7パターンのアタッチメント構造の試作機を開発した。なお,この基本構造7パターンに加え,避難誘導サインの素材を普通紙,防炎クロス,メッシュ布材と随時変更している(図2-4).



図 2 避難誘導 U A V 試作機 事例 1 A1 サイズ普通紙材による試作パターン A(左) および B(右)



図3避難誘導UAV試作機 事例2 A0メッシュ布材による一枚標識パターン(F)

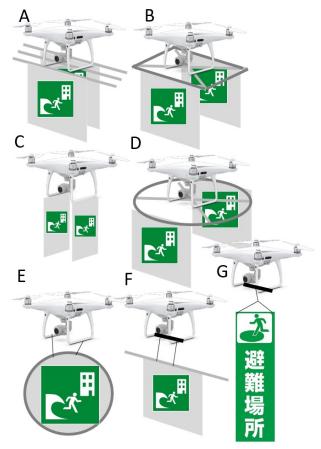


図4 避難誘導UAV試作機構造パターン

3. 実地での実証実験

前述での UAV 試験機を, 2017 年 3 月, 9 月, 2018 年 2 月, 3 月の計 4 回 (①住宅地・避難ビル運用・住民主対象パターンで 1 回, ②観光地・高台避難運用・観光客主対象パターンで 3 回) の実地試験を行った。

(1) 運用想定地パターンの違いによる課題

両想定に共通した課題として、風による影響を如何にして抑制し、飛行高度を確保できるかが大きな課題となった。ケース①の避難ビルの近郊での試験飛行では、ビル風の影響を、ケース②の高台移転地での試験飛行では沿岸部から内陸に向けて吹く海風の影響が大きく、特に海風の場合は UAV のプロペラ音がほぼ聞こえなくなるような状況もあった。ただしいずれの状況でも避難誘導

サイン等を取り付けていない状態ではある程度飛行可能であったことから、避難誘導サインによる空気抵抗をどれだけ低減できるかが安定飛行のポイントの一つといえる. UAV 飛行時の周囲への安全確保のため、ケース①の避難ビル近郊の場合は駐車場の一角や避難ビル屋上スペースの使用が必要となる一方、ケース②の高台移転地の場合は公園や分譲空き区画が存在することから、高台移転地の方が比較的安全に UAV が飛行可能が敷地が確保しやすい状況にあった.

(2). 避難誘導サインの素材・サイズ選択における課題

普通紙, 防炎クロス, メッシュ布材の各素材を最大 A0 サイズを目標に検証を行った結果、最も UAV の飛行高 度が確保できたのは空気抵抗の少ない「メッシュ布材」 を使用した場合であった. これは空気抵抗はもちろんの こと, 本体重量が他の素材と比較しても圧倒的に軽量で あり、高度の差はあるものの、どのアタッチメント構造 でも比較的安定した飛行が可能であった. 一方で、メッ シュ布材は裏写りを防ぐことが困難なため、サインの表 裏で避難方向を誘導するには別の手段が必要である. ま た, 普通紙材の場合は, A1 以上の大判サイズを用いると 誘導サインがめくり上がり、プロペラと接触するアクシ デントが生じることもあった(図4のA,Bパターン). 防炎クロスについてはアタッチメント構造 G の市販の "のぼり"を使用したケースに採用したのみであるが、 本体から一定距離を確保して取り付けたアタッチメント 構造 G の際に安定した飛行を行うことができたが、細長 い構造のため、防炎クロスの印刷面にも飛行中ネジレが 生じ、距離によってはサインの内容を読み解くことは難 しい状況になった.

(3). アタッチメント構造の違いによる課題

今回開発したアタッチメント構造は、A1-A0 サイズとい った大型サイズの避難誘導サイン印刷面の上部を視認可 能なように広げた状態とするための「サイン固定材」、 その固定材をつけたことにより崩れる機体バランスを保 つための「スタビライザー材」をどう配置するかを検討 したものである. その際にプロペラからの上昇風を誘導 サインに直撃させる(図4のAおよびC構造)か、ある いは空き空間を設けて直撃を防ぐ(角型のB構造および 円型のD構造)か、極力余計な構造材を使用せず本体と 直接続するべきか(C構造)、あるいは本体直下の配置 であるが、本体と避難誘導サインの間に一定の距離を設 ける(E・F・G構造)か、いずれが安定飛行と高度を 確保できるか検証した. 結果としては、メッシュ材を用 いたC、F構造、防炎クロス材のG構造試作機が目標高 度に近い飛行高度を確保できた。一方で視認性について は、約 200m程の水平距離であればF・G構造の場合は サインが読み取れることもあるが、それ以上の距離(-300m)ではなにかがたなびいていることを認識できるレ ベルにとどまっていた.このため、視認性の向上につい ては、単純な塗装サインだけでなく、発光機能を搭載す るといったさらなる改良が必要である.

4. まとめ

本稿では、土地勘の不十分な避難者の避難行動迅速化のひとつのアプローチとして、UAVによる避難目標地点滞在型での避難者誘導の可能性について検討した.原点では発展途上の段階にあり、避難誘導サインの視認性に









図5 避難誘導 UAV実証実験時の様子

左からF構造、E構造の飛行時近接画像、C構造による高度飛行時、水平距離約 200m 地点からのG構造UAV

ついても 200-300m 程にとどまっており、今後、さらな る向上を図る必要がある段階である. LED 等による発光 機能の実装など、ひきつづき開発に取り組んでいく.

謝辞

本研究の一部は文科学省リスクコミュニケーションのモデル 形成事業(学協会型)による地域安全学会の取組み「行政・住 民専門家の協働による災害リスク等低減を目的とした双方向リ スクコミュニ ケーションのモデル形成事業」によるものである.

(I) 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」によれば、「人(第三者)又は物件(第三 者の建物、自動車など)との間に30m以上の距離を保っ て飛行させること」となっており、これ未満での飛行につ いてはあらかじめ、地方航空局長の承認を受ける必要があ

参考文献

- 高橋秀幸, 片山健太, 横田信英, 杉安和也, 木下哲男: マルチエージェントに基づく沿岸部地域向け避難行動支援システム,電子情報通信学会技術研究報告, vol. 117, no. 67, ICTSSL2017-8, pp. 35-39, 2017 年 5 月.
 産経ニュース:津波にドローン出動 仙台市検討,上空から避難広報と情報収集(2017年9月8日掲載)
- https://www.sankei.com/affairs/news/170908/afr1709080003n1.html