

令和元年6月18日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01330

研究課題名(和文)全天候型マルチローター推進ロボットシステムの開発

研究課題名(英文) Development of All-Weather Multi-Rotor Propulsion Robot System

研究代表者

三輪 昌史 (MIWA, Masafumi)

徳島大学・大学院社会産業理工学研究部(理工学域)・准教授

研究者番号：40283957

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：遠隔操作可能で、周囲環境に係らず高いアクセスビリティを有するオールラウンドな移動ロボットシステムとして、空中および水上・水中を移動可能な全天候型マルチローター推進ロボットシステムの開発を行った。その結果、雨天・強風時に運用可能な全天候型4発ティルトロータ方式マルチコプタ、推力偏向技術による姿勢制御、水上・水中で機動可能な水空両用マルチコプタを開発した。今後、開発したロボットシステムを用いて橋梁の桁下点検やトンネル崩落などの災害調査、水害時の被災状況調査等、インフラ構造物に関する点検調査を現場での検証実験として行い、移動能力とその実用性を評価する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

強風や雨天でも安全に運用できるマルチコプタは、災害発生時などの緊急事態における迅速な情報収集だけでなく、平時における定期的な情報収集でも役立つ機材である。また、水空両用マルチコプタは、水中機動でダムや堰堤の水中部分の観察・調査も迅速に行えるようになる。特に、推力偏向技術による強風化での安定した飛行や、水中での安定した移動により悪天候での運用も可能であり、迅速な情報収集が実現できる。

研究成果の概要(英文)：We have developed an all-weather multi-rotor propulsion robot system that can move in the air, water and under-water as an all-round mobile robot system that can be operated remotely and has high accessibility regardless of the surrounding environment. As a result, we have developed an all-weather quad tilt-rotor multicopter that can be operated in rainy weather and strong winds, attitude control using thrust vectoring technology, and a under-water / air multi-copter that can be maneuvered in air and under-water.

In the future, using the developed robot system, we will carry out inspection surveys on infrastructure structures, such as inspections under part of bridges, disaster investigations such as tunnel collapses, disaster situation investigations at the time of flood, etc.

研究分野：無人航空機 無人機システム 自動制御

キーワード：UAV 無人航空機 全天候型無人航空機 推力偏向 水空両用マルチコプタ

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

橋梁やトンネル、道路等に代表されるインフラ構造物の老朽化が進んでおり、事故を未然に防ぐため、予防保全の観点からライフサイクルコストの最小化を実現するインフラ調査点検システムの開発が求められている。ロボット技術の活用は、作業者の安全性確保、点検調査やデータ解析作業の効率化を実現するものとして注目されている。本研究開発課題は、点検調査対象現場（遠隔現場）へのアクセスビリティ技術に注目した。

大地震による倒壊家屋やトンネル崩落現場などでの調査では、がれき上を移動することから、クローラ型移動ロボットが有効であると言われている。一方、橋梁の桁下点検やメンテナンス作業の場合、磁力を利用した吸着移動型や比較的簡易に飛行可能なマルチローターヘリコプタ（多発型ヘリコプタ）が注目されている[1]。特に、マルチコプタは、3次元的な飛行が可能で、空間移動に関する高い自由度を有しており、地形の影響を受けにくいことが最大の利点である。しかし、狭隘空間や検査対象壁面付近での安定性の問題、落下の危険性、稼働時間の短さ、カメラや各種測定機器等を搭載するためのペイロード（可搬重量）の実現等が課題となっている。さらに現在実用化されているマルチコプタにおいては、悪天候における利用は基本的に不可能である。

現在、国内では、点検調査を目的とした空中および陸上移動ロボットに関する研究は数多く報告されている。同様に、水中移動ロボットに関する研究にはいくつか報告されている[2]。しかし、水上移動ロボットに関する研究はそれほど多くはない[3]。それぞれの環境に最適化された移動ロボットを使用することも重要であるが、携行性や広範囲の適用を想定した場合、単独の移動ロボットで種々の環境に対応が可能であるオールラウンドで活用できる利点は大きいものと考えた。図1に本提案のロボットシステムが対象とする作業風景を示す。



発電ダムの土砂堆積量調査

トンネル内の被害状況調査

橋梁桁下の目視/打音検査

図1 本提案ロボットシステムが対象とする各種点検調査対象現場の作業風景

参考文献：

- [1] 野波, 岩倉, 宋, 産業応用型マルチローター電動ヘリコプタのテレオペレーション技術, 日本ロボット学会誌, Vol.30, No.6, pp.574-577, 2012.
- [2] 熊谷, 石川, 田中, 自律型潜水ロボット淡探(たんたん)による湖底調査, 日本ロボット学会誌, Vol. 27, No. 3, pp. 278-281, 2009.
- [3] 黒田, 小松, 熊谷, 浦, 湖面環境計測用ソーラーロボット艇の設計と開発, 設計工学, Vol. 36, No. 7, pp. 317-322, 2001.

2. 研究の目的

本研究では、橋梁の桁下点検やトンネル崩落や土砂崩れに対する災害調査、水害時の被災状況調査等、インフラ構造物に関する点検調査を目的とし、遠隔から安全に制御が可能で、悪天候においても周囲環境に影響されない高いアクセスビリティを有するオールラウンドな空中移動ロボットの実現を目指す。

3. 研究の方法

オールラウンドな空中移動ロボットの機動方式として

- (1)雨天・強風時における安全な飛行システム
- (2)推力偏向技術による姿勢制御方式
- (3)水上・水中機動可能なマルチコプタ

の3つの要素について実験機を開発し、技術的検証を行った。

4. 研究成果

- (1)雨天・強風時における安全な飛行システム

雨天・強風時における運用を目指し、全天候型4発ティルトロータ方式マルチコプタを開発した(図2)。開発した機体は、防水機能を有した4発ティルトロータ方式のマルチコプタであり、ティルトロータ機構により、機体を傾斜させずに水平移動が可能である。

機体中央に2次元風向風速計を搭載し、対気速度を計測できる。計測した対気速度情報を速度フィードバックに用い、GPS情報と併せて位置制御系に使用することで強風雨下でのホバリング時の位置決め精度の向上を実現した。また、強風時にも安定した水平飛行を実現した。防水機能により、強風雨下での運用を実現した。

飛行実験の様子はYoutubeにて公開している。

- ① 雨天 風速計無しでの飛行の様子
<https://youtu.be/v0s0s0iY3qc>
- ② 雨天 風速計有での飛行の様子
<https://youtu.be/0vmHP47JW1U>



図2 全天候型4発ティルトロータ方式マルチコプタ 扶桑

(2) 推力偏向技術による姿勢制御

(1)ではプロペラロータごとを傾斜させるティルトロータ型の推力偏向技術を用いた。この方式は機構が単純であり、効果も大きいですが、機構のサイズが大きくなる。将来的に狭隘な空間での移動を念頭に置いて、別形式の推力偏向方式として、ダクトファンと2次元偏向ノズルの組み合わせを検討した。図3に試作した3世代目の機体 MLF0を示す。この形式の機体は垂直離着陸が可能であり、水平飛行時は最大 14m/s での移動が可能である。しかし、ダクトファンを使用するためバッテリーの消耗が早く、稼働時間は短くなっている。

- ① 自動航行時の様子
<https://youtu.be/Aw-0kJuerCY>
- ② マニュアル操縦の様子
https://youtu.be/sZhXg4K3x_A



図3 二次元偏向ノズル方式推力偏向実験機 MLF02

目的地点までの移動時間の短縮と飛行距離の延長を目指し、4発ロータマルチコプタをベースとしたテールシッタ型 VTOL 機を試作した。図4に実験機の外観を示す。この機体は、ホバリング時は通常のマルチコプタとして飛行し、長距離移動を行う場合はエレボンを用いた推力偏向で姿勢を維持し、固定翼機に近い機動を行うことに成功した。

- ③ 実験の様子
https://youtu.be/eRI_nnuEnmA

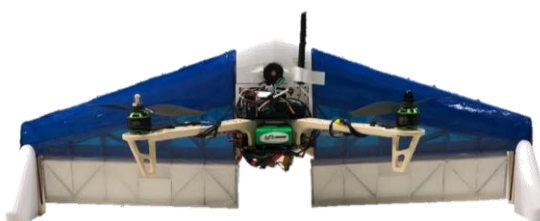


図4 テールシッタ型 VTOL

(3) 水上・水中での機動

水上・水中での機動を可能とするマルチコプタを開発した(図5)。空中では通常のマルチコプタと同様に推力の差動で姿勢制御を行う。水中では、プロペラロータを傾けるティルトロータ方式で推力偏向を行い移動する。また、機体は電源喪失時の回収を容易にするために、浮力が重力を超えている。そのため、水中ではプロペラロータを逆転させ、下向きの推力で機動する。機体は防水モータと防水ボックスにて水中での防水を実現した。これまでに、飛行→着水→潜水→水中機動→浮上→離水→飛行の実験に成功した。現状で淡水において水深3mまでの機動に成功した。今後、海水にも対応できるように改良を行う。



図5 水空両用マルチコプタ

① 水中機動実験

https://youtu.be/J_tTfQe5KSg

② 搭載カメラの映像

<https://youtu.be/UNu6jE-Rs2s>

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 0件)

[学会発表] (計 11件)

1. 瀧川 雄登, 三輪 昌史, ”水空両用 Tilt Rotor UAV の開発”, 日本機械学会 中国四国支部 第57期総会・講演会, 1206, 2019年3月.
2. 小田 康人, 三輪 昌史, ”全天候に対応する無人航空機の開発”, 日本機械学会 中国四国支部 第57期総会・講演会, 1213, 2019年3月.
3. 小田 康人, 三輪 昌史, ”全天候型に向けた小型無人航空機の開発”, 第36回日本ロボット学会学術講演会, 2I2-06, 2018年9月.
4. Yasuto Oda, Masafumi Miwa, ”Development of All-Weather Tilt-Rotor Quad Copter”, 14th International Conference on Intelligent Unmanned Systems, P62, 2018, August
5. 小田 康人, 三輪 昌史, ”全天候型に向けた小型無人航空機の開発”, 日本機械学会中国四国支部第56期講演会, 1206, 2018年3月.
6. 小田 康人, 三輪 昌史, ”全天候型 に向けた 小型無人航空機の開発”, 第18回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 355-357, 2017年12月.
7. 三輪 昌史, 小田 康人, ”全天候型マルチコプタのためのティルトロータ”, 第55回飛行機シンポジウム, 3B15, 2017年11月.
8. Ryo Goto, Masafumi Miwa, ”Development of VTOL with movable legs”, Proceeding of 6th ARF & Heli Japan 2017, ARF6-059, 2017年11月7日
9. Kenta Kotera, Masafumi Miwa, ”Development of Tailsitter VTOL using Multi copter”, Proceeding of 6th ARF & Heli Japan 2017, ARF6-060, 2017年11月7日
10. Ryo Goto, Masafumi Miwa, ”Development of VTOL with movable legs”, Proceeding of The 13th International Conference on Intelligent Unmanned Systems, PaperID=1053, 2017年8月22日
11. Kenta Kotera, Masafumi Miwa, ”Development of Tailsitter VTOL using Multi copter”, Proceeding of The 13th International Conference on Intelligent Unmanned Systems, PaperID=1051, 2017年8月22日

〔図書〕（計 0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 1件）

1. 名称：無人航空機
発明者：三輪 昌史
権利者：株式会社MMラボ
種類：特許出願
番号：特願 2017-156953 特開 2019-026233
出願年：2017年
国内外の別：国内

○取得状況（計 0件）

〔その他〕

テレビ出演：

1. 日本放送協会 超絶 凄（すご）ワザ！「強風でも落ちずに飛べ！ 究極のドローン対決」
2017年07月31日(月) 午後 10:25～午後 11:15

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：小田 康人

ローマ字氏名：(ODA, Yasuto)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。