

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：33919
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2020～2023
課題番号：20K04387
研究課題名（和文）可変プロペラアームを有するマルチコプタに関する研究

研究課題名（英文）Study on Multicopter with transformable propeller arm

研究代表者

大原 賢一（Ohara, Kenichi）

名城大学・理工学部・教授

研究者番号：50517886

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）：本研究では、安定したインフラ点検を目的として、従来研究で見られるマルチコプタにロボットアームを搭載する形ではなく、プロペラアームにチルト、伸縮機構を設けることで、点検の安定化や接近や狭隘空間の点検に活用可能なマルチコプタの開発を目指した。シミュレーションや試作を通じて、変形機構の課題を明らかにしながら、1自由度のチルト機構と伸縮機構を持ったマルチコプタを設計し、飛行実験を通じて変形機構を有した状態でも安定した飛行ができることを検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、インフラ点検への利用を想定した変形機構を有するマルチコプタを提案し、その基礎検証を行った。4ロータや6ロータのマルチコプタに対して、プラスアルファで機能を追加する形の研究は多く見られるものの、通常のマルチコプタと同様の形状を持ちながら、変形により求める機能を実現できる本提案は独創的な研究となった。機体重量の軽量化が可能となるため、マルチコプタの飛行時間の増加も期待でき、インフラ点検へのマルチコプタの活用につながる知見を得ることができた。

研究成果の概要（英文）：This research aimed to develop a multicopter that can be used for stable infrastructure inspections, and that can be used for inspections in close distance and narrow spaces, by adding a tilt and slide mechanism to the propeller arm, instead of mounting a robot arm on a multicopter, as in previous research. Through simulation and prototyping, we clarified the problems with the deformation mechanism, and designed a improved multicopter with a 1-DOF tilt and slide mechanism, and verified it through the experiments that stable flight is possible even with the deformation mechanism.

研究分野：ロボティクス

キーワード：マルチコプタ インフラ点検 変形機構

1. 研究開始当初の背景

インフラ構造物の老朽化に伴い、5年に1回の詳細点検が求められている。インフラ点検の例として、橋梁の点検においては、通行できる車線の制限を行った上での点検が必要となっており、コスト面や交通制限による地域の流通への影響などを加味し、より効率的な点検手法が求められてきている。こうした課題に対して、マルチコプタを用いたインフラ点検技術の開発が進められてきている。橋梁の点検、特に橋梁下部工の点検においては、以下の様な要求が挙げられる。

- 橋脚などの点検対象面に接近できること
- 支承部などの狭隘部の点検もできること

ここまでインフラ点検を対象に開発されているマルチコプタは、球殻や車輪を用いる事で、点検対象面に接近することはできるものの、地面と水平に近い形でプロペラが設置されているものが多く、検査対象面との距離を一定に保ちながら検査画像を撮影するためには、飛行制御そのものではなく、ジンバル機構などによる安定した撮影を可能にする機構の搭載が不可欠となっているものが多く見られる。また、マルチコプタに取り付けられたカメラからの撮像が主体となるため、離れた場所からの撮影となる。そのため、橋梁の支承部など狭隘部などを対象とした点検への適用は困難と言える。一方で、ロボットアームをマルチコプタに搭載することで、狭隘部の点検を可能にした事例も登場してきていた。アームを用いることで、検査対象面から離れた場所に置いてもアームによる点検が可能となるため、狭隘部の点検も可能な形になっていた。しかし、アームの搭載による重畳の増加により、機体の大型化、飛行時間への影響などの課題を有していた。

2. 研究の目的

マルチコプタをインフラ点検に適用するためには、マルチコプタ自体が壁面に安定した飛行で接近できること、さらには狭隘部の検査も可能になるような仕組みを可能な限り軽量で実現する事が求められていると言える。こうした課題に対して、本研究では、図1に示すように上述の2つの要求を満たす新たな機構を有するマルチコプタとして、多自由度の変形プロペラアームを有するマルチコプタの実現を目指す。具体的には、橋脚への接近のためには、複数本のプロペラアームを傾け、水平方向の推力を発生することで、機体を地面と水平に保ったまま飛行する。また、狭隘部の点検に対しては、複数本のプロペラアームを変形させ、狭隘部に接近した形での点検を行う。プロペラアームが変形することで、上述の用に多様な飛行が実現できるようになるが、通常時に浮上のために用いている推力が変形時には減少することから、安定した飛行状態を維持することが重要になる。例えば、6つのロータを用いるマルチコプタの場合、水平飛行を行うために2つのロータを利用するときには、6つのロータによる飛行から4つのロータによる飛行に変化するため、ダイナミクスが変化する。そのため、制御則を変更する必要がある。こうした変形について、飛行状態を維持したまま実現する事を目指しており、挑戦的な取り組みと言える。そこで、本研究では、飛行時の可変機構および制御手法の確立を目的とする。

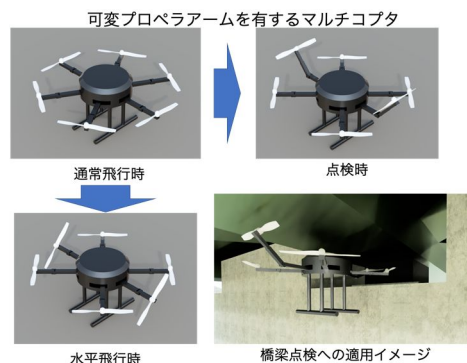


図1 可変プロペラアームを有するマルチコプタの構想

重要になる。例えば、6つのロータを用いるマルチコプタの場合、水平飛行を行うために2つのロータを利用するときには、6つのロータによる飛行から4つのロータによる飛行に変化するため、ダイナミクスが変化する。そのため、制御則を変更する必要がある。こうした変形について、飛行状態を維持したまま実現する事を目指しており、挑戦的な取り組みと言える。そこで、本研究では、飛行時の可変機構および制御手法の確立を目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、大きく2つの課題を設定した。

- 変形機構を有するマルチコプタの設計
- 前述のマルチコプタに対する制御則の確立

まず、本研究では、機体の胴体部のプロペラアームの設置位置に1自由度、また各プロペラアームに対して、多自由度を持たせることで、変形機構を有するマルチコプタを設計する。プロペラアームの有する自由度として、1つはロータを傾け、水平方向の推力を発生するために用い、残りの自由度は、狭隘部の点検時の伸縮と角度変化に利用する。このような機構とすることで、本研究の目的であるインフラ点検に適したマルチコプタに対する基本機能を持たせる。

制御則の確立においては、開発するマルチコプタのモデル化を行い、このモデルを用いることで、飛行制御則の確立とその検証を行う。また、点検向けに変形している状態では、重心位置が

変化することも想定されることから、点検状態へ変更時の飛行安定制御についても検討と検証を行う。

4. 研究成果

本研究では、図1に示すような6発のマルチコプタにおいて、一对のロータ部を回転、伸縮可能にすることで、インフラ点検時の飛行安定性とインフラ構造物に接近した状態での点検作業の実現を目指した。本研究で実施した項目について下記の通り示す。



図2 本研究で考案したマルチコプタ

(1) 変形時の飛行安定性の評価

図2に示すマルチコプタの飛行制御即ちシミュレーションするに当たり、MATLAB/Simulinkを用いてシミュレータの構築を行った。シミュレータにおける機体の重量などは図2の構想に従って設計した3D CADのモデルおよびそこから得られる慣性モーメントなどの情報を用いた。本シミュレーションでは6ロータから4ロータでの飛行に変更、4ロータから6ロータの飛行に変更するときの挙動についての検証を行った。図3に示すように、変形に伴いロータの個数が変更されることで、不安定な状態になるものの、時間の経過とともに安定した飛行状態に推移することを確認した。本シミュレーションでは、風などの外乱を加味しない条件での検証であったことから、より実環境に合わせた検証を進めることが課題として残った。

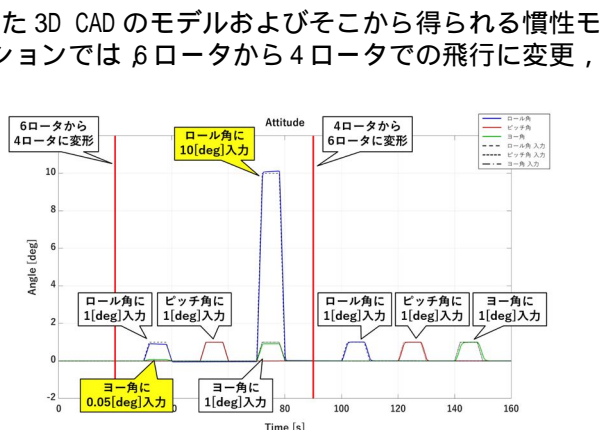


図3 飛行状態での変形による姿勢変化

(2) 機体モデルの変更と制御系の再検討

(1)で検討したシミュレーションの結果を踏まえ、実機にて飛行実験を行ったが、変形後の状態で、隣り合うプロペラの回転方向が一緒になる部分が存在してしまうため、完全に2つのロータを停止してしまう形では、安定した飛行が維持できないことが明らかとなった。また、アクチュエータの重量の影響を受け、機体重量の増加による飛行性能の低下につながってきた。そこで、機体の制御性を維持し、なおかつ不安定な状態を回避するために、図4に示すようなチルトおよび伸縮機構を有する形のマルチコプタを再設計した。1自由度減らすことで、軽量化を行えたと同次に、チルト機構のみとすることで、水平方向の推進力を出しながら、飛行安定性を維持できるようになった。本機体の妥当性を検証するために MATLAB/Simulink を用いて、飛行性能シミュレーションを行った。インフラ点検時に高さ一定で水平方向の飛行をすることを想定したシナリオにおいて、チルト機構を動作させた場合においても、チルト部のロータの回転数を増加させることで、飛行高度を維持したまま、水平飛行ができることを確認した。また、水平方向に風を想定した外乱を入力した場合においても、チルト機構による水平方向の推進力を得ることで、機体の姿勢を維持したまま、一定した位置を維



図4 改良したマルチコプタの外観

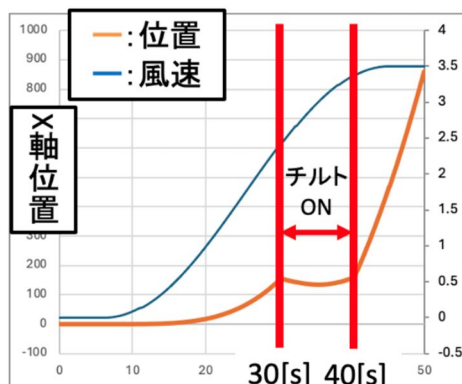


図5 外乱入力時の位置制御の結果

持できることを確認した。この段階では、風速を制御系に組み込まない状態での検証となったが、風速を計測していくことで、風が発生した場合においても風速に応じた飛行制御ができる可能性を示した。

(3) 実機製作と飛行性能検証

(2)までの検証結果に基づき、改良した実機の飛行性能の検証を行った。図4の機体を用いており、6発のプロペラアームのうち、一対がチルトできる形になっており、残りの4発のロータは変形機構を有さないものとなっている。飛行実験を通じて、改良版のマルチコプタでは、非変形時には安定した飛行が可能となっており、変形機構を有していても飛行性能に問題がないことが確認された。変形時の検証が十分ではないことから、変形時の飛行性能への影響を分析していくことが今後の課題といえる。



図6 飛行実験の様子

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山口 英之, 大原 賢一
2. 発表標題 変形機能を持つ橋梁点検用マルチコプタシステムの開発
3. 学会等名 第22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(SI2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hideyuki Yamaguchi, Kenichi Ohara
2. 発表標題 Multicopter system for bridge inspection with transformable functions
3. 学会等名 32nd 2021 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science
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
---------	---------