

令和 5 年 6 月 3 日現在

機関番号：17102

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2021～2022

課題番号：21K20406

研究課題名（和文）汎用性を向上させた3軸チルト変形ドローンの開発と災害時タスクへの応用

研究課題名（英文）Development of a Versatile Drone with a 3-Axis Deformable Frame and Its Application to Disaster Tasks

研究代表者

坂口 聡範 (Sakaguchi, Akinori)

九州大学・先進電気推進飛行体研究センター・助教

研究者番号：90912692

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、汎用性の高い変形ドローンを創造し、多様な災害時タスクへの応用可能性を示すことができた。はじめに、平行リンク機構をうまく利用することで、3個の追加アクチュエータのみで、推力損失なく、ロール・ピッチ・ヨー軸まわりに変形できる変形フレームを有する新たなドローンを提案した。提案ドローンは平行四辺形・菱形・V字のような多様な形状に変形でき、どのような変形状態でもホバリング効率が低下しない。つぎに、空中変形を伴うホバリング飛行実験により、提案ドローンの変形機能を確認した。さらに、その変形機能を災害時タスク（被災者の捜索、狭隘な隙間の通り抜け、物資輸送、パーキング）に応用できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

できるだけ少数の追加アクチュエータのみで、ホバリング効率を低下させずに、高い変形機能を有する変形ドローンを創造するという課題に対して、平行リンク機構をうまく利用することで、推力損失なく、3個の追加アクチュエータのみでロール・ピッチ変形とヨー変形の2つの変形モードを持つ独創的な変形ドローンを提案・具現化したことは、学術的に意義が高い。提案ドローンの高い変形機能によって、物資運搬、パーキング、狭い隙間の通り抜けなど多くのタスクを遂行でき、災害現場での効率的な作業の遂行が期待できるため、社会的意義も大きいと考える。

研究成果の概要（英文）：In this study, we have proposed a versatile deformable drone and demonstrated its potential for various disaster-related tasks. Firstly, we proposed a novel drone with a deformable frame that can deform around the roll, pitch, and yaw axes without any thrust loss by effectively utilizing a parallel link mechanism with only three additional actuators. The proposed drone can transform into various shapes such as parallelogram, diamond, and V-shape, without compromising hovering efficiency in any deformation state. Next, we conducted hovering flight experiments involving aerial deformations to verify the deformable capabilities of the proposed drone. Furthermore, we demonstrated the applicability of its deformation capabilities to disaster-related tasks such as search and rescue of victims, maneuvering through narrow gaps, transportation of supplies, and perching.

研究分野：ロボット工学

キーワード：変形ドローン 平行リンクモジュール 災害時タスク チルト機構

### 1. 研究開始当初の背景

地震、津波、洪水、火山噴火といった多くの自然災害のリスクを抱える災害大国日本において、災害時のドローンの利活用が進められている。特に、行方不明者の捜索、半壊した建物内の情報収集、支援物資の輸送など、従来では人が行っている多様なタスクを代替することが求められる。従来のドローンでは、位置・姿勢を独立に制御できない非ホロノミック性や特定のタスク専用機となってしまう専用性によって、1台のドローンでは複雑で多様な災害時タスクを遂行できない。そこで、追加のアクチュエータによって構成要素（ロータ、アーム、リンクなど）をチルトや変形できる独創的なドローンが提案されている。チルトロータ型ドローンは4個の追加アクチュエータによりロータ面を傾げることで高い運動自由度を持つが、ホバリング効率が大幅に低下してしまう。チルトアーム型ドローンは平面上でロータ配置を変更できるが、ロータが重なる変形状態ではホバリング効率が低下する。チルトリンク型ドローンは多自由度変形を実現できるが、多くの追加アクチュエータ（クアドロータの場合、6個）が必要である。したがって、ホバリング効率を低下させずに、少ない追加アクチュエータのみで高い変形機能を有する、汎用性の高いドローンの創造が喫緊の課題である。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、できるだけ少数の追加アクチュエータのみで、ホバリング効率を低下させずに、高い変形機能を有する変形ドローンを開発し、災害時の多様なタスクに対する有用性を示すことである。

### 3. 研究の方法

本研究では、上記の研究目的を達成するために、(1) 平行リンクモジュールを用いた変形ドローンの開発と (2) 変形飛行実験と応用実験に取り組んだ。

#### (1) 平行リンクモジュールを用いた変形ドローンの開発

変形によるホバリング効率の低下を回避するには、従来ドローンと同じように全ロータを平行に維持する必要がある。本研究では平行関係を維持できる平行リンク機構に着目する。平行リンク機構を組み込んだモジュールをうまく利用することで、最小限の追加アクチュエータで高い変形機能の獲得を目指した、新たなフレーム構造を持つ変形ドローンを開発する。

#### (2) 変形飛行実験と応用実験

はじめに、開発した変形ドローンに対して、どのような変形状態でも安定して飛行できる制御手法を提案し、変形を伴うホバリング飛行実験によって、その有効性を確認する。つぎに、災害時における3つのタスク（被災者の捜索、狭隘な隙間の通り抜け、支援物資の輸送）を想定した応用実験を行い、変形ドローンの有用性を示す。

### 4. 研究成果

平行リンク機構が組み込まれた平行リンクモジュールとアームを数珠つなぎにしてフレームを構成することで、3個の追加アクチュエータのみでロール・ピッチ変形とヨー変形の2つの変形モードを持つ変形ドローンを提案した（図1）。2つの変形モードは従来ドローンの状態を介して切り替えることができる。このような変形機能を持つ提案ドローンの利点を以下にまとめる。

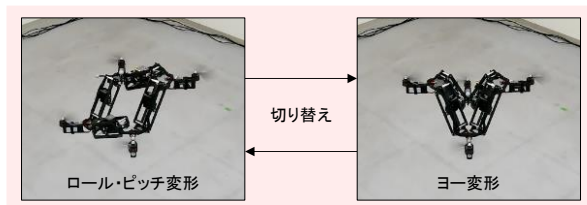


図1 3軸変形ドローン

#### (利点1) ロール・ピッチ変形機能

ロール・ピッチ変形モードでは、ロール軸とピッチ軸まわりにフレームを独立にチルト変形できる。この変形モードでは、ホバリング状態では制御できないロール・ピッチ方向の運動自由度を補うような変形自由度を持つ。

#### (利点2) ヨー変形機能

ヨー変形モードでは、ヨー軸まわりにフレーム全体を収縮・拡大できる。

(利点3) 追加アクチュエータの削減

平行リンクモジュールで構成したフレームの構造的制約をうまく利用して、全てのモジュール (4 個) ではなく 3 個のモジュールのみにアクチュエータを追加することで、2つの変形モードとそれらの変形モードの切替えを実現できる。

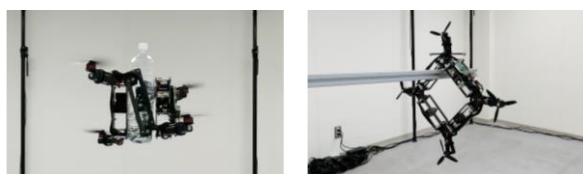
(利点4) ロータの平行性

平行リンクモジュールによって、どのような変形状態でも全てのロータの平行性が維持される。これにより、変形による推力損失が発生せず、従来ドローンで用いられる一般的な位置・姿勢制御器を適用できる。

提案ドローンに対して、従来の制御構造を拡張することで、変形を伴いながらも安定してホバリングでき、代表的な変形状態でホバリング時間が変わらないことを確認した (図 2)。さらに、災害時タスクとして、物資運搬やパーチなどに適用できることを応用実験で示した。物資運搬では、ヨー変形によって機体形状を収縮させて、500g のペットボトルを把持して、目的地まで運搬することができた (図 3)。パーチでは、水平片持ち・水平両端支持・垂直片持ちの 3 種類のポールに対して、フレームの変形をうまく活用したパーチ機能を示した (図 3)。これにより、モータを停止させた状態での災害現場の長時間リモートセンシングが可能になる。このように、当初は想定していなかった応用例を見出し実現できた。



図 2 様々な変形状態でのホバリング



ペットボトル500gの運搬

ポールへのパーチング

図 3 応用例

これらの研究成果は、国際会議 1 件と国内会議 1 件で発表し、それぞれ SICE International Young Authors Award (SIYA-IROS2022) と日本ロボット学会第 4 回優秀研究・技術賞を受賞した。これらの内容をまとめて、国際学術論文誌 1 本に掲載された。この論文に対して、日本ドローンコンソーシアム JDC から第 2 回日本ドローンコンソーシアム表彰を受賞し、本研究は高く評価されている。また、研究成果の紹介ページも作成したので、参照されたい (図 4)。

今後は、追加アクチュエータ数をさらに削減して軽量化させること、さらには追加アクチュエータを必要としないフレーム構造を考案することが課題である。



図 4 研究ホームページ

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 0件）

1. 著者名 Sakaguchi Akinori, Yamamoto Kaoru	4. 巻 7
2. 論文標題 A Novel Quadrotor With a 3-Axis Deformable Frame Using Tilting Motions of Parallel Link Modules Without Thrust Loss	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 9581 ~ 9588
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LRA.2022.3191195	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 坂口聡範、山本薫
2. 発表標題 平行リンクモジュールを用いた3軸変形フレームを有するドローンの提案
3. 学会等名 第40回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sakaguchi Akinori, Yamamoto Kaoru
2. 発表標題 A Novel Quadrotor With a 3-Axis Deformable Frame Using Tilting Motions of Parallel Link Modules Without Thrust Loss
3. 学会等名 2022 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究紹介

<https://sites.google.com/view/3axis-deformable-frame>

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
---------	---------