

令和 2 年 7 月 9 日現在

機関番号：32619

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K18054

研究課題名(和文) 推力ベクトル可変機構を有する航空ロボットの飛行性能評価指標の提案と高機動飛行計画

研究課題名(英文) Proposal of a Flight Performance Index and a High Maneuverable Flight Plan of an Aerial Robot with Variable Thrust Vector Mechanisms

研究代表者

安孫子 聡子 (Satoko, Abiko)

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号：40560660

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、推力ベクトル可変機構を有するクアッドロータUAVの高機動飛行を目指した研究を実施した。本研究の対象である推力ベクトル可変機構UAVは、大きく姿勢が変化した場合であっても、定点飛行(ホバリング)が可能である機能を有する。特に、従来の飛行手法では、通常のホバリング姿勢から90度機首上げ姿勢に遷移する場合、2種類の飛行モードを切替えることで遷移飛行を実現していた。本研究では、通常のホバリング姿勢から90度機首上げ姿勢に変化する場合であっても、制御手法を切替えることなくシームレスに姿勢を遷移する飛行制御を提案し、その有効性を飛行シミュレーションおよび実飛行実験によって検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、推力方向が可変となる機構を有するクアッドロータUAVの高機動制御の実現を目指した研究である。同UAVは推力方向を変化させることにより、任意の姿勢での定点飛行(ホバリング)や姿勢一定状態での水平飛行を実現できる。このような性能を最大限に活かした制御を実現することで、壁面に習いながらの観測作業や狭隘空間のすり抜けのような従来には困難であった飛行の実現が可能となる。

研究成果の概要(英文)：This study aims at the high maneuverable flight of a quadrotor UAV with variable thrust vector mechanisms. The UAV with the variable thrust vector mechanisms enables to hover with a large attitude change. Especially, with conventional flight techniques, when transitioning, the transition flight from a normal hovering attitude to 90-degree pitching up attitude was realized by switching two types of flight modes. In this study, we achieved a seamless attitude transition flight under the full position control and realized expanding the quadrotor UAV's ability with variable thrust vector mechanisms. The numerical simulations and flight experiments were carried out to verify the validity of the proposed method.

研究分野：ロボティクス

キーワード：推力ベクトル可変機構 クアッドチルトロータUAV シームレス90度姿勢遷移飛行

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

インフラ点検や災害現場での救援作業等, UAV の実用化が期待される分野が急速な勢いで拡大しているが, 研究開発当初, 広く普及している所謂マルチコプタは, 推力方向が機体に対して一方のみであるため, 外乱に対する応答性の低さ, 空撮や観測・運搬といった限定的な作業にしか適用できないという問題があった. 本研究開始時点において, 申請者らは, 研究協力者らと共に, 従来のマルチコプタや固定翼機では実現できない革新的な飛行形態を実現する航空ロボットの提案・検証を実施しており, その一つとして, 推力ベクトル可変機構を有する UAV による様々な姿勢での飛行を世界に先駆けて実現していた. 推力ベクトル可変 UAV は推力方向を 180 度以上回転できる機構により, UAV の並進・回転運動を独立に制御できるという大きな特徴を持つ. このように, 制御自由度を増加し, 飛行性能を向上させる試みはいくつかあるが, その飛行制御の困難さにより, 安定な飛行を実機にて実現している例は当時は限りなく少なかった. また, 申請者の先行研究では, 予め決定した飛行形態に対し, 制御系を構築しており, 実環境における任意の作業に適応できる普遍的かつ体系的な制御則の設計方法の確立には至っていなかった. 特に, 推力ベクトル可変 UAV では, 推力の方向により, 推力が発生しえない特異点が存在する. また, 任意の目標姿勢が飛行計画の決定変数となるため, 目標作業に対し適切な目標姿勢を決定する飛行計画法の確立が不可欠であった.

2. 研究の目的

本研究の目的は, 推力ベクトル可変機構を有する航空ロボット(UAV)による高機動作業の実現である. 研究当初, 広く普及している所謂マルチコプタは外乱に対する応答性の低さやその性能限界から利用範囲が限られるという問題があった. 本研究では, 推力ベクトル可変機構により UAV の飛行性能を向上させ, より広い分野での UAV の利活用を目指す. 一方, 推力ベクトル可変機構の特徴を活かした空中作業の実現は未だ前例がなく, 推力の特異点を考慮した飛行制御則の構築や目標姿勢の決定方法等の課題の解決が必要である. 本研究では, 壁面ならい作業を想定したシームレスな姿勢遷移飛行の実現, 推力ベクトル可変機構の特徴を活かし, 従来のクアッドコプタよりも高い制御能力を示すヨー軸回転制御を利用した空中ねじり作業を対象とした飛行実現を目指す.

3. 研究の方法

本研究では, 上記目的に示すように推力ベクトル可変機構を有する航空ロボットが壁面ならい作業を想定したシームレスな姿勢遷移飛行の実現, 推力ベクトル可変機構の特徴を活かし, 従来のクアッドコプタよりも高い制御能力を示すヨー軸回転制御を利用した空中ねじり作業を対象とした飛行実現を目指す. 上記, 2 種類の飛行実現のために, 動力学シミュレーションによる制御手法の検証を実施し, その後, 目的を達成するための機体設計と開発, 実飛行試験を実施する.

4. 研究成果

図 1 2 にシームレスな姿勢遷移飛行の実験の様子とそのときの実験データを示す. ここでは, 10s 間での 0° から 90° までの姿勢遷移とその逆を定点飛行(ホバリング)下において実施した. 従来の提案手法では, 0° から 90° までの大きな姿勢遷移を行う際に, 2 種類の飛行モードを切替えることで実現していた. そのため, 瞬間的な姿勢変化となってしまう, 壁面のならい作業をじっしするに至っていなかった. 本研究では, 大きな姿勢遷移時においても, 同一の制御モードでの飛行を可能とし, シームレスな姿勢遷移飛行を実現することができた. 特に, 目標推力と目標推力可変角度の分配則を機体座標系に基づき導出し, 幾何学的に導出することで明確な数学モデルに基づく制御則を導出することができた. 実験では, 定点飛行により, 位置誤差を 0.1m 以内に抑えた状態での姿勢変化を実現することができた.

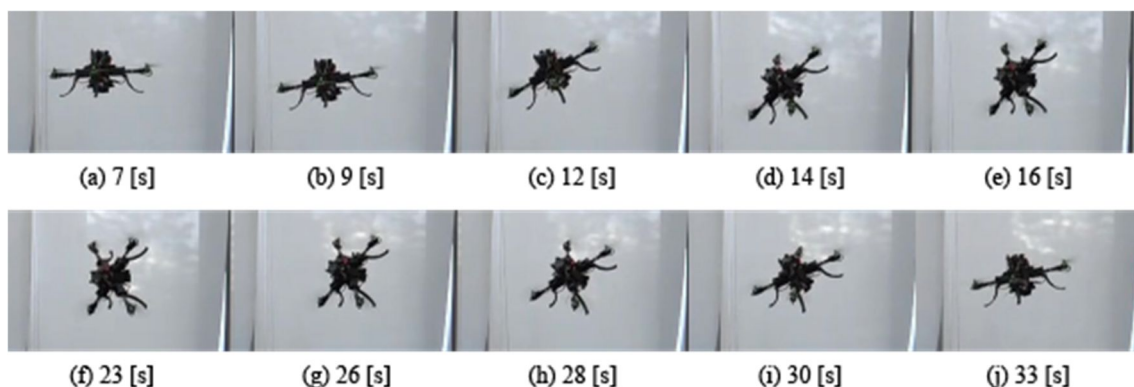


図 1 定点飛行時のシームレス姿勢遷移飛行の実現

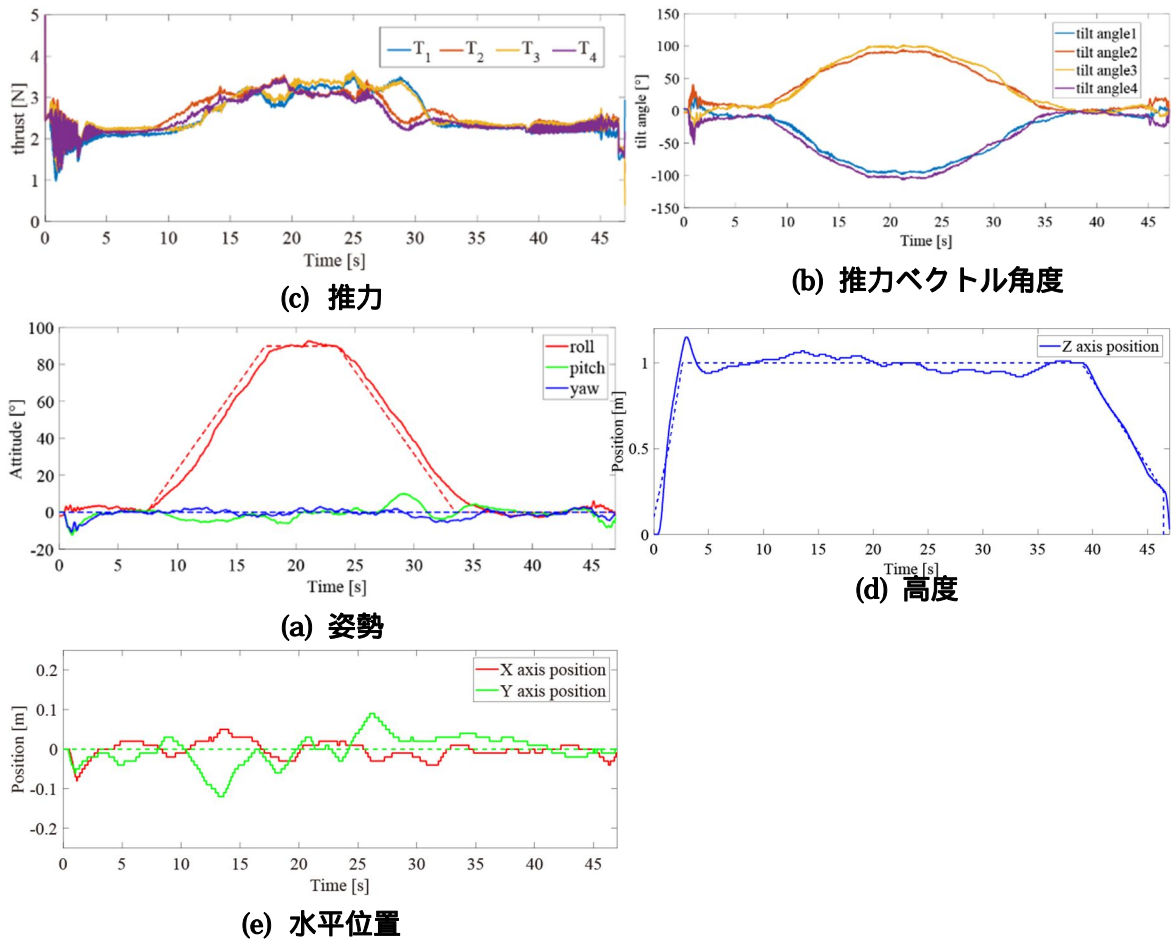


図 2 シームレス姿勢遷移飛行時の実験データ

次に、推力ベクトル可変 UAV の特徴の一つであるヨー軸回転制御に着目した作業として、空中ねじり作業を対象とした飛行実験を実施した。ここでは、電球を機体上部に搭載した支点開閉型グリッパを用い把持、回転という一連の作業を実施し、電球の取り外しを行うことをデモンストレーションとして実施した。図 3、4 にそのときの実験の様子と結果を示す。従来のマルチコプタでは、ヨー軸回転を制御するためには反トルクを利用する方法しかなく、その制御性能はとても低かった。推力ベクトル可変 UAV では、推力方向を傾けることによって、その一部を水平成分として用いることができる。同方向の回転軸に対して推力方向を傾けてあげることによって、高いヨー軸回転制御性能を示すことができ、その結果、空中でのねじり作業を実現することができた。

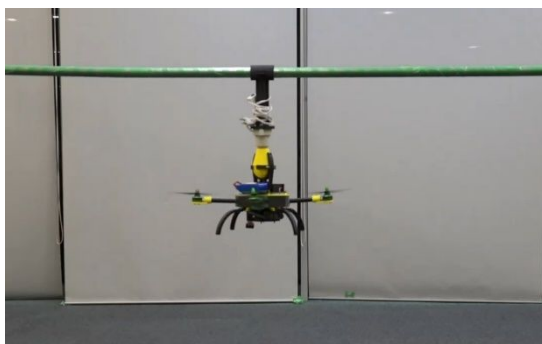


図 3 空中ねじり作業

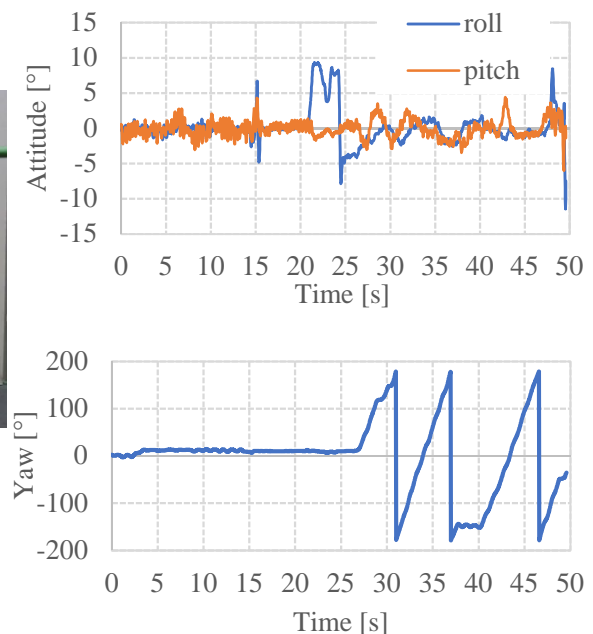


図 4 ねじり作業時の姿勢データ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Satoko Abiko and Tomohiro Harada
2. 発表標題 Autonomous Flight of a Quad Tilt-rotor UAV at Constant Altitude
3. 学会等名 23rd CISM IFToMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoyuki Magariyama and Satoko Abiko
2. 発表標題 Seamless 90-Degree Attitude Transition Flight of a Quad Tilt-Rotor UAV under Full Position Control
3. 学会等名 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Satoko Abiko and Kengo Tashiro
2. 発表標題 Fundamental numerical and experimental evaluation of attitude recovery control for a quad tilt rotor UAV against disturbance
3. 学会等名 16th International Conference on Control, Automation and Systems (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 坂井佑将, 安孫子聡子
2. 発表標題 クアドチルトロータUAVのシームレス90度姿勢遷移飛行の実飛行検証
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 曲山 智之, 安孫子 聡子
2. 発表標題 クアドチルトロータUAVのLQIによる位置制御
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂井祐将, 安孫子聡子
2. 発表標題 クアドチルトロータUAVのシームレス90度ロールアップホバリング制御
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 戸田泰三, 安孫子聡子
2. 発表標題 支点開閉グリッパ搭載型クアドチルトロータUAVを用いた空中ねじりマニピュレーション
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坂井祐将, 安孫子聡子
2. 発表標題 簡易動力学モデルを用いたクアドチルトロータUAVの姿勢制御
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 後藤茂希, 安孫子聡子
2. 発表標題 空中作業のための1自由度開閉型グリッパ搭載型クアドチルトロータUAVの設計開発と基礎飛行検証
3. 学会等名 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
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田代健悟, 安孫子聡子
2. 発表標題 インパクト外乱の影響を考慮したクアドチルトロータUAVの姿勢切替飛行
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2017
4. 発表年 2017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