

論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	LADIG, Robert Oliver (らでいっく ろばーと おりばー)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 1212 号
○授与年月日	2018 年 3 月 31 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	Vision based localization, positioning and movement on the ceiling using a multirotor UAV (マルチロータ型 UAV を用いた天井面での視覚情報に基づく位置特定, 位置決めおよび移動)
○審査委員	(主査) 平井 慎一 (立命館大学工学部教授) 川村 貞夫 (立命館大学工学部教授) 小澤 隆太 (立命館大学工学部教授)

<論文の内容の要旨>

本論文は、全方位車輪駆動システムを機体上部に搭載したマルチロータ型飛行ロボットの開発とその視覚情報に基づく移動制御について述べている。第 2 章では、マルチロータ型 UAV (Unmanned Aerial Vehicle) の基本的な構造や重要な構成要素について述べている。第 3 章では、UAV の位置決め精度や外乱に対するロバスト性を向上させるためのいくつかの方策を提案し、それぞれの特徴について述べている。第 4 章では、視覚情報に基づいた位置特定を行うために UAV に搭載する組込みビジョンシステムを開発した。本論文で対象としている小型 UAV では、搭載できる装置の重量や消費電力に大きな制限がある一方で、低レイテンシかつ高速な視覚情報処理と制御が要求される。このため、FPGA (Field Programmable Gate Array) やマルチコアプロセッサを用いたシステムを開発している。第 5 章では、天井面を移動するために UAV の上部に取り付けられた全方位車輪駆動システムとその制御について述べている。また、プロペラによる飛行移動と車輪による天井面移動を同じオペレータが制御するための遠隔操縦装置を開発した。第 6 章では、力センサに基づくフィードバック制御による天井面への押し付け力の制御を提案し、実験によりその有効性を示している。第 7 章では、実験を通して、開発した飛行ロボットの性能を評価している。

結果として、全方位車輪駆動システムにより天井面を移動できるマルチロータ型飛行ロ

ボットの位置特定や位置決め、および移動をオンボード視覚システムを用いて一定の精度で制御でき、様々な作業タスクに応用可能であることを示した。

<論文審査の結果の要旨>

本論文の特徴は、全方位車輪システムを用いて天井面に接触し移動する方式を提案し、機体に搭載した2つのカメラを用いたマーカベースカメラ位置特定方法を組み合わせることで、飛行ロボットとしては高精度な移動および位置決めが可能であることを示した点である。飛行しながら周囲の環境に置かれた物体に接触して操作を行う“空中マニピュレーション”の研究が世界中で行われているが、本論文では特に、産業応用に展開する場合に求められる位置決め精度や外乱に対するロバスト性を、マルチロータ型 UAV をベースとした飛行ロボットにおいてどのように実現するかを検討し、実ロボットを製作して実験により検証した点が評価された。また、カメラから得られる視覚情報に基づいた位置特定、位置決めおよび移動の制御に加えて、力センサ情報に基づいて天井面への押し付け力を制御できることを屋内および屋外環境における実験を通して示しており、マルチロータ型 UAV を用いた飛行ロボットを建築物の検査や保守作業などに活用するための基盤技術として今後の展開が期待される。

本論文の公聴会では、学位申請者による論文要旨の説明の後、審査委員が申請者に対する口頭試問を行った。口頭試問においては、天井面に傾斜がある場合の全方位車輪での移動への影響や力計測部の構造やその特性などを問う質問がなされた。学位申請者は、プロペラ推力と天井面傾斜角の関係に基づいて一定の傾斜角範囲内で車輪移動可能であること、機体が天井に接触した際の衝撃を吸収するためにばねを採用したこと、ダンピング要素の追加により振動抑制可能である旨を答えた。

以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は博士学位を授与するに相応しいものと判断した。

<試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、学位申請者が本学大学院理工学研究科機械システム専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じて日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

本論文の公聴会は、2017年10月24日（火）16時00分～17時00分、機械システム系第1演習室において行われた。公聴会では、学位申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者 LADIG Robert Oliver に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、天井面に傾斜や凹凸がある場合の全方位車輪移動への影響、力計測部の構成や他のセンサとの組み合わせの可能性、プロペラ推力による天井面への機体押し付けと姿勢制御の関係、オンボードカメラの搭載方法等に関する質問がなされたが、いずれの質問に対しても学位申請者の回答は適切なものであった。学位申請者は、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有

していると確認した。

以上の諸点を総合し、学位申請者に対し、本学学位規程第 18 条第 1 項に基づいて、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。