

氏名	霜村 瞭			
学位の種類	博士（工学）			
学位記番号	博甲第10261号			
学位授与年月日	令和4年3月25日			
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当			
審査研究科	システム情報工学研究科			
学位論文題目	コアンダ効果を応用した UAV 実現に向けたスラスト機構に関する研究			
主査	筑波大学 准教授	博士（工学）	延原 肇	
副査	筑波大学 教授	博士（情報科学）	望山 洋	
副査	筑波大学 准教授	博士（工学）	伊達 央	
副査	筑波大学 助教	博士（工学）	河合 新	
副査	筑波大学 助教	博士（理学）	高安 亮紀	

論文の要旨

本論文は、コアンダ効果を利用した UAV のスラスト機構に関するものである。外部アクチュエーターからの入力によって駆動するコアンダ UAV を対象とし、その推進機構としてリング状スラスト機構を考えている。流体シミュレーションと自己組織化マップを融合することで、スラスト機構の最適設計手法の確立、および実環境での推力測定実験と対応させることで提案手法の妥当性を示している。さらに、それらを搭載した UAV の制御系設計に向けて制御対象が可制御となる条件の数理的導出およびシミュレーションによる検証を示している。

本論文は4章より構成されている。第1章では研究の背景、コアンダ UAV の着想に至るまでの経緯、および本研究の目的について述べている。第2章では、外部アクチュエーターからの入力によって駆動する UAV に搭載するリング状スラスト機構を最適設計するにあたり、流体シミュレーションと自己組織化マップを融合した設計手法を提案している。スラスト機構の性能最適化は、リング形状の各種設計パラメータの組み合わせ最適化問題として考えることができる。一方で、それぞれの設計パラメータの組み合わせで得られた候補を流体シミュレーションで性能評価する場合、シミュレーションの計算コストが高く、膨大な設計候補の全てを評価することができない。さらに、スラスト機構から噴出する体積流量と機構全体の重量という評価指標を考慮しなければならない。本論文では、この問題を解消するため、数十程度の設計候補についての流体シミュレーションの評価結果を、自己組織化マップとして視覚化することで、全ての候補を調べることなく、体積流量と機構重量の傾向を把握できる手法を提案している。また、提案設計手法のシミュレーションの妥当性を検証するために、得られた設計候補を実際に制作し、外部からの入力としてエアコンプレッサーを用いた推力測定実験を行なっている。流体シミュレーションの体積流量と、実環境で計測推力の間の相関を示すことで、シミュレーションによる最適設計が、実環境に整合したものであることを確認している。実環境計測においては、外部入力としてエアコンプレッサーを使っているが、提案手法によって最適化された候補を実際に

制作した結果、推力重量比約 1.0 の確認、これによるコアンダ UAV の実現可能性についても示唆している。

第 3 章では、リング状スラスト機構を搭載したコアンダ UAV の制御系設計を目的として、モデリングと可制御となる条件について示している。本論文で取り扱うコアンダ UAV は、外部のエアーコンプレッサーからの入力を前提とし、このため独自の制御モデルが必要であり、さらにそのモデルは従来のマルチコプタ型 UAV と同様に可制御であることが望まれる。そこで、スラスト機構のリングに推力点を定義した制御モデルを考え、そのモデルが可制御となる条件を明らかにした。導出したモデルの線形近似モデルに対して可制御性解析を行うことで、チルト角が非ゼロの範囲で可制御であることを示している。さらに、シミュレーションにおいて、チルト角の異なるモデルを検証し、制御に与える影響を確認している。最終章では本論文の結論、今後の課題について述べている。

審 査 の 要 旨

【批評】

本論文では、外部アクチュエーターからの入力によって駆動するコアンダ UAV を対象とした、リング状スラスト機構の最適設計を、流体シミュレーションと自己組織化マップに基づき提案し、その有効性を示している。また実環境での推力測定実験と対応させることで提案手法の妥当性を示している。さらに、リング状スラスト機構を搭載した UAV の可制御な制御系設計の数理的導出およびシミュレーションによる検証を示している。リング状スラスト機構を搭載したコアンダ UAV の機体全体の実装、および提案制御モデルによる飛行は今後の課題だが、本論文で得られた知見は、コアンダ UAV の発展に非常に大きなインパクトを与えるとともに、有用な学術資料ともなり、博士論文に値するものと考えられる。

【最終試験の結果】

令和 4 年 1 月 26 日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。