

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：12102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18695

研究課題名（和文）プロペラに替わるチルトスラスト推進機構を搭載した安全ドローンの研究

研究課題名（英文）Research on safety drone with tilt-thrust propulsion mechanism instead of propellers

研究代表者

延原 肇（Nobuhara, Hajime）

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：80359687

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、ドローン利活用をポジティブに推進するための対策として、機体構造および制御設計を抜本から改善した安全ドローンを提案することである。より具体的には、ドローン事故のリスク要因の大半を占める回転推進機構（プロペラ）を使わずに、コアンダ効果を用いた推進機構に基づく新たなドローンを提案した。提案推進機構を、流体シミュレーションによる予測と、3Dプリンタで作成した実機の推力計測結果を同化させ、自己組織化マップによる最適な設計機構の絞り込みを行った。さらにサロゲートモデルによる学習・予測結果を使うことで探索空間の粒度を細かくできることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、これまでのドローンの回転機構によるリスクを払拭することができるので、プラント施設やインフラ施設の無人自律飛行による点検、植物工場やハウス内の無人点検、防除などあらゆる可能性が展開できる。学術的にみても、本研究で目的とするチルトスラスト機構は、従来のドローンの機構も包括した上で、今後のドローンのマーケットの潮流を大きく変革させることができ、学術的な意義および社会的意義を十分に有していると言える。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to propose a safe drone with a radically improved airframe structure and control design as a measure to positively promote drone utilization. More specifically, we proposed a new drone based on a propulsion mechanism using the coanda effect, instead of using a rotational propulsion mechanism (propeller), which accounts for most of the risk factors in drone accidents. The proposed propulsion mechanism has been assimilated with predictions from fluid simulations and thrust force measurements of the actual drone created by a 3D printer, and the optimal design mechanism was narrowed down using a self-organizing map. Furthermore, it was found that the granularity of the search space can be made finer by using the learning and prediction results from the surrogate model.

研究分野：計算知能・ドローン

キーワード：ドローン サロゲートモデル データ同化 コアンダ効果 自己組織化マップ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

世界的なドローンブームが落ち着きをみせているが、2020年以降も、2,200億円を超える有望な市場の一つになると予想されている。しかしながら、これらの市場を牽引する世界のトップ20のドローン企業に日本企業は1つも入っておらず、中国、フランス、米国等の海外企業によって完全に独占されている。また学術分野に関しては、これら海外企業による研究開発が完全に先行、特にDJI社（中国）の技術が突出しており、世界シェア約70%が独占されている。ドローン分野においては、産業および学術ともに、日本は大きく立ち遅れてしまっている一方で、まだ進出・牽引可能な領域が残っている。それがドローンの安全対策の領域であり、本研究課題が設定されたテーマの領域である。国内におけるドローンの安全対策としては、政府による改正航空法（2015年12月および2019年9月など）が挙げられるが、これはドローンの利用を制限するネガティブな対策となってしまう。ドローンの世界的な潮流に合わせ、利活用の促進に資するポジティブな安全対策は喫緊に必要なものであり、本研究の目的設定の着想背景となっている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ドローン利活用をポジティブに推進する対策として、機体構造および制御設計を抜本から改善した安全ドローンを提案することである。すなわち、リスク要因の大半を占める回転推進機構（プロペラ）を使わずに、コアングラ効果による推進機構を採用した新たなドローンを提案する（図1）。この新たな構造を持つドローンの運動方程式導出、数理モデル解析および制御系設計を行い、機体実装および飛行実証実験までを行うことが本研究の目的である。



図1: 提案ドローンのイメージ

3. 研究の方法

本研究では、提案推進機構を、流体シミュレーションによる予測と、3Dプリンタで作成した実機の推力計測結果を同化させ、自己組織化マップによる最適な設計機構の絞り込みを行っている。提案推進機構は、リング形状を基本とし、直径、高さ、吹き出し口の形状などを調整することで、得られる推力および推進機構自体の重量が変化する（図2）。推進機構の最適化とは、推力の最大化、推進機構自重の最小化を意味するが、調整可能なパラメータ群による組合せ爆発が原因で、最適候補の探索が困難となる。具体的には、3Dプリンタによる推進機構の実装には1個体あたり数日、流体シミュレーションも1個体あたり1時間程度必要となる。

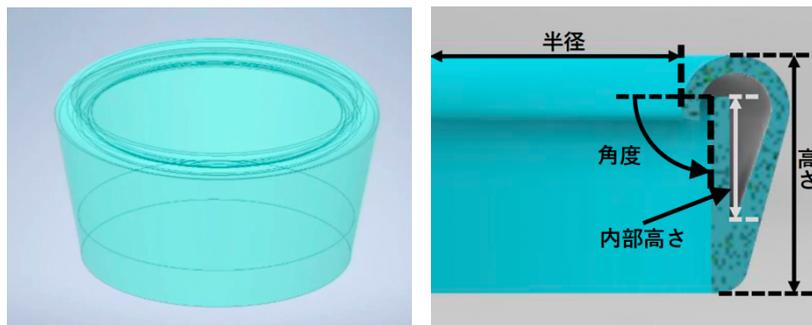


図2: 推進機構の概形（左）と調整可能なパラメータの代表例（右）

2021年度は、この問題を解決するため、実際に試行できる組み合わせだけを使って、設計候補の探索空間全体をマクロに視覚化し、最適な候補を絞り込むことのできる、自己組織化マップに基づく設計手法による解消にアプローチしている(図3)。2022年度は、最適化に大きな影響を与えないパラメータを取り除き、逆に、物理特性を考慮し新たなパラメータ追加を行い最適化を試みた。また自己組織化マップの探索空間の粒度についても検討を行い、具体的には、50から100個体のシミュレーション結果だけではなく、サロゲートモデルによる学習・予測結果を使うことで探索空間の粒度を細かくできることが明らかになった。2023年度は、流体シミュレーションで最適化を行う評価関数自体を見直し、より実機の推力計測と対応するように変更し、更なる性能向上を実現している。

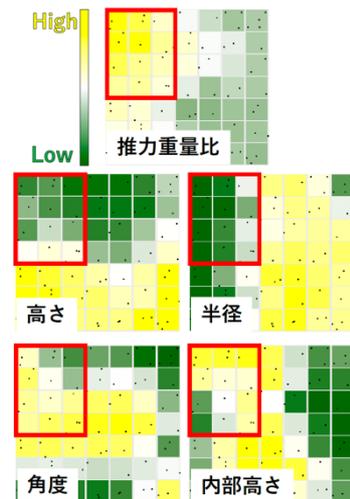


図3: SOMによる最適候補の絞り込みの様子

4. 研究成果

提案手法によって最適化を行う前後のノズルの概形の比較の様子を図4に示す。図4の左が最適化前のノズルであり、上がCAD設計図、下が3Dプリンタによって実際に作成した様子を示している。図4の右は最適化後のノズルであり、上がCAD設計図、下が3Dプリンタによって実際に作成した様子を示している。こちらの図における比較からわかるように、最適化後のノズルは、リングの直径を小さく絞った方が、大きな推力を得られる結果となっている。それぞれのノズルを構成するパラメータの定量比較の様子を図5に示す。

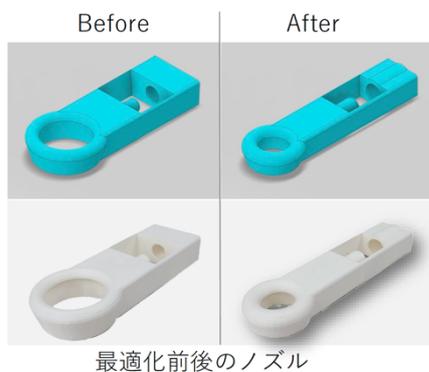


図4: 最適化前後のノズル形状の比較

最適化前後の設計変数

	設計変数			
	高さ[mm]	半径[mm]	角度[°]	内部高さ[mm]
最適化前	15.5	17.5	90.0	4.5
最適化後	10.5	8.75	95.0	6.0

図5: 最適化前後のノズル形状の比較

さらに提案手法によって得られたノズルを3Dプリンタによって制作し、その推力を計測するため図6に示すような計測環境を構築した。この計測環境を用いて、従来のシミュレーションのみによって得られたノズルと、提案するサロゲートモデルを利用した手法によって最適化したノズルの比較を行った。

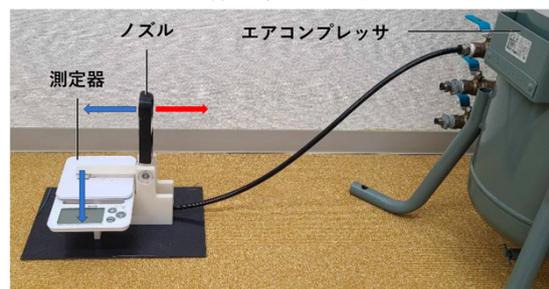


図6: ノズル推力の計測装置

それぞれの比較を表1に示す。この表の最右列が計算時間の比較であり、提案手法の計算時間が従来手法に比べて、1/3程度まで短縮できていることがわかる。また推力重量比に関しても、ほぼ同程度の性能が得られていることがわかり、提案手法の有効性を示すことができている。

	設計変数				流速重量比		推力重量比	時間 [h]
	高さ	半径	角度	内部高さ	サロゲート	CFD	測定値	
CFDのみ	10.5	8.75	92.5	6.0	—	3640.1	18.2	54
提案	10.5	8.75	95.0	6.0	3271.6	3448.6	17.2	18

表1: 従来のシミュレーションおよび提案 (サロゲートモデル) によって最適化されたノズルの性能および計算時間などの比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 R. Shimomura, S. Kawai, and H. Nobuhara
2. 発表標題 Designing and Modeling of Coanda Drone for Controllability
3. 学会等名 The 7th International Workshop on Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics (IWACIII 2021), Beijing, China (国際学会)
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
研究分担者	河合 新 (Kawai Shin) (40803549)	筑波大学・システム情報系・助教 (12102)	

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