

補助事業番号 2019M-128

補助事業名 2019年度 ロータ空力特性における壁面効果の解明による飛行制御系の開発
補助事業

補助事業者名 京都大学大学院 中西弘明

1 研究の概要

本研究では、粒子画像流速測定法を利用した装置などにより壁面効果による流れ場の変化を観測・測定するだけでなく、ロータ空力特性の変化、必要パワーの変化を実験的に明らかにする。また、その結果を、ブレード翼素理論などに適用し、壁面効果を含んだ機体運動方程式を導出し、壁面効果のモデル化を行う。このモデルから、壁面効果の存在をパワー変化や距離など測定可能なパラメータから検知する方法を開発し、適応的に制御系を変化させることにより飛行の安定性および操縦性を保つ飛行制御系を開発する。

2 研究の目的と背景

現在、小型マルチロータ型飛行体の利用は空撮と農薬散布に限られている。飛行体にさまざまな作業をさせるためには、人工物や壁への接近を避けることができない。ロータの空力特性には、周辺空気の流れが大きな影響を及ぼすが、壁面の存在により、その流れ場が変化する。このため、ロータが壁面に接近したときにその空力特性が変化する壁面効果が現れる。マルチロータ型飛行体の飛行制御系は、各ロータの特性は均一であると仮定して設計されているが、この仮定が破綻すると、飛行制御系が十分に機能しない。つまり、作業を行う飛行体の実現には、壁面効果の解明とその効果を考慮した飛行制御系の構築法の確立が不可欠である。

3 研究内容

(1) ロータ空力特性における壁面効果の計測・観察

境界に接近することによりロータの空力特性は変化する。ロータが地面に接近したときに現れる地面効果に関しては、これまで研究されているが、その発生原因についてまだ明らかでないことも多い。また、天井壁あるいは垂直壁へ接近したときに現れる効果に関しては、計測結果や知見が十分でなかった。天井壁とはロータ上流に位置し、ロータ回転軸とその法線方向が平行な境界である。これに対して、垂直壁はロータ回転軸と平行な境界である。本研究では様々な境界にロータが接近したときの、空力特性の変化や流れ場の様子を観察した。その結果、地面と同様に天井壁に接近したときに、ロータ推力が増加することが明らかになった。そのときの流れ場の観察により、その原因はロータ上部の気圧降下であることを明らかにした。また、垂直壁に接近したときにはロータにピッチングモーメントが現れることを明らかにした。そのときの流れ場の観察により、ロータ後流の壁面近傍において強い渦が形成されていることを明らかにした。この渦によりロータブレード面に誘起される速度の変化がピッチングモーメントを発生させる原因であることを明らかにした。

(2) 壁面効果モデルの構築

本研究では、ブレード方位角の影響が大きい垂直壁効果についてのモデル化を重点的に行った。具体的にはブレード翼素理論に基づいて解析し、計測結果を説明するにはブレード翼面における誘起速度分布が非一様となることを示した。

(3) 壁面効果を考慮した飛行制御系の構築

数値シミュレーションを用いた解析により、壁面効果がクアドロータ機の飛行を不安定化させることを確認した。実験モデルが得られた天井壁効果について、観測した消費電力データを利用してロータ壁面間距離を推定することでこの効果を補償する方法を提案した。提案法は数値シミュレーションによりその効果を確認した。

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

インフラ点検は小型マルチロータ型飛行体の利用が期待されている分野である。本研究により壁面近傍における飛行の不安定化とその解消方法が明らかになれば、小型マルチロータ型飛行体の利用が促進される。また、大地震などの災害発生時に屋内探査を速やかに実行できる飛行型のレスキューロボットとしても利用できる知見となる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

代表者らはこれまで無人航空機の飛行制御、遠隔操作UI、およびその安全・防災活動に関して研究を行ってきた。これまでの研究では流体力学的効果は既知であるとして、研究に利用してきたが、本研究はロータ周りの流れ場が重要な役割を果たす、このため、今回の研究は流体力学と制御工学・システム工学の融合についても研究を進める重要なきっかけとなった。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- 1) 阿戸太志, 伊藤駿介, 金田さやか, 中西弘明, 下村卓, Quadrotorヘリコプタのための天井付近の推力モデルの構築, D09, 第56回日本航空宇宙学会 関西・中部支部合同秋期大会予稿集
- 2) 伊藤駿介, 阿戸太志, 金田さやか, 中西弘明, 下村卓: Quadrotorヘリコプタのための地面付近の推力モデルの構築, D10, 第56回日本航空宇宙学会 関西・中部支部合同秋期大会予稿集
- 3) 榊原 雅人, 中西 弘明, 金田 さやか, 堀口 由貴男, 榎木 哲夫: ロータ空力特性における垂直壁効果, 2019年度計測自動制御学会関西支部・システム制御情報学会シンポジウム予稿集, ID=18, 2020

7 補助事業に係る成果物

- (1) 補助事業により作成したもの

<https://www.syn.me.kyoto-u.ac.jp/ja/?%B8%A6%B5%E6%C6%E2%CD%C6>

(2)(1)以外で当事業において作成したもの
なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 京都大学大学院工学研究科
(キョウトダイガクダイガクインコウガクケンキュウカ)

住 所： 〒615-8540
京都市西京区京都大学桂C3-b1S17

担 当 者： 講師 中西弘明 (ナカニシヒロアキ)

担 当 部 署： 機械理工学専攻 (キカイリコウガクセンコウ)

E - m a i l : nakanishi@me.kyoto-u.ac.jp

U R L : <https://www.syn.me.kyoto-u.ac.jp/ja/?Sawaragilab>