

2021 年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所 属 機 関	東京大学大学院新領域創成科学研究科 先端エネルギー工学専攻
職位または役職	特任助教
氏 名	永井 栄寿

1. 研究題目

ドローンへの飛行中給電を目的とした姿勢制御技術の開発

2. 研究目的

報告者は現在の所属機関で走行中の電気自動車(EV)への非接触給電技術(WPT)の開発に取り組んでいる。EV は短い航続距離や長い充電時間などの課題があり、普及が進んでいない。走行中の EV への非接触給電は道路に敷設したコイルから車両に搭載されたコイルへ直接非接触で給電できる技術であり、走行で消費したエネルギーを走行しながら得られるため、航続距離と給電時間の両方の問題を解決できる。

近年、人・モノの自由な移動を可能とするドローンが注目されている。EV 同様に、ドローンも航行距離が搭載バッテリーにより制限される。そのため、EV 同様にドローンに対しても、移動中の非接触給電は有効であると考えられる。

本研究では、ドローンの非接触給電手法として、EV との設備共用を想定した磁界共振結合方式を使用する。磁界共振結合方式はマイクロ波給電方式と比較すると高効率かつ大電力の電力伝送が可能であるが、送電コイルと受電コイル間のギャップが給電効率や給電電力に大きく影響を与える。EV とは異なり、ドローンでは受電コイルの高さおよび傾き(姿勢)の変動が生じる。安定的かつ高効率に電力供給するためには、コイル上で機体高度および姿勢を一定に保持する制御技術が必要不可欠である。本研究の目的は、電力伝送が高効率にできる受電コイルの位置および傾きを明らかにし、その範囲内で機体高度および姿勢を保持する制御手法を提案することである。このとき、低空での飛行の際に生じる地面効果の影響も考慮する必要がある。また、得られた受電電力量から機体高度を推定する技術の提案も実施する。

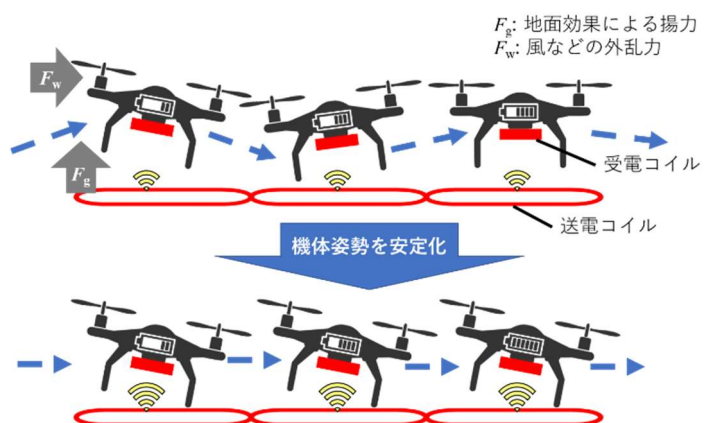
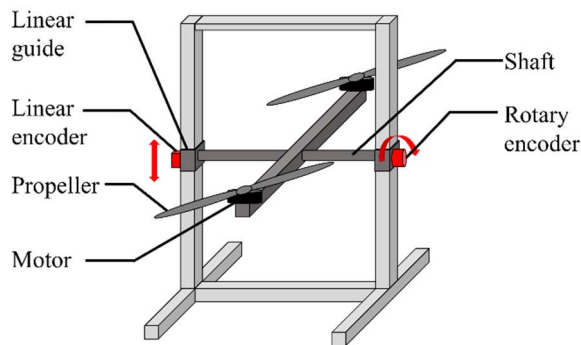


図1 飛行中ドローン非接触給電

3. 研究内容及び成果

図 2 に本研究で設計・製作したドローンベンチを示す。プロペラ間距離 1300 mm、プロペラ直径 710 mm、プロペラ最大推力 9 kgf の大型ドローンを模擬したテストベンチである。可動部に取り付けられた 2 セットのモータおよびプロペラの推力を制御することにより、高さとピッチを制御する。

低高度において課題となる地面効果による推力の増加の補償方法に関して、一般的なドローンの姿勢制御に用いられる PID 制御と外乱力の補償によく使用される外乱オブザーバの各制御性能の比較をシミュレーションにより確認した。図 3(a) にシミュレーション結果を示す。PID 制御器では、ステップ指令に対し、立ち上がりは良好だが、整定時間が長いことが確認できる。地面効果は高度が低いほど揚力が大きくなるため、高度指令がステップダウンしている箇所 ($t=20s$) で遅い整定時間が顕著にみられる。一方、外乱オブザーバを用いた制御では立ち上がりは遅いが、整定時間が早いことが確認できる。図 3(b) は外乱オブザーバを使用した際の実験結果である。地面効果が発生する領域でも指令値に追従していることが確認できた(高度誤差 $\pm 1mm$ 以下、角度誤差 $\pm 0.02rad$ 以下)。しかしながら、ピッチ角のステップ指令を入力した際に、制御器が発散し、実験機が破損したため、実験機の修繕およびシミュレーションと実験機の差異を調査している。WPT 実験については、コイル取り付け部品は購入し、取り付けまでは確認したが、姿勢制御に課題があるため、次年度以降、姿勢制御の課題を解決し、WPT の課題に取り組む。当初予定していた国際会議論文も実験機修繕後に再度実験を行い、その後、成果を発表する予定である。

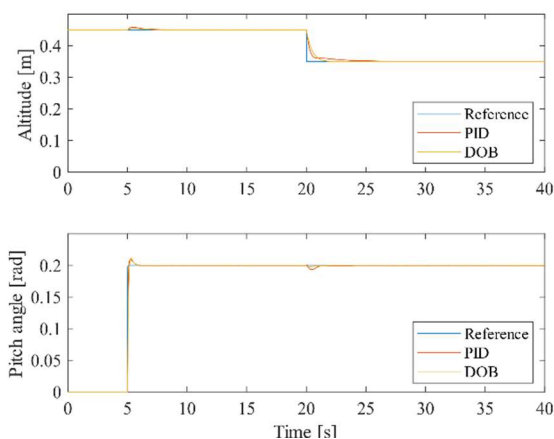


(a) 模式図

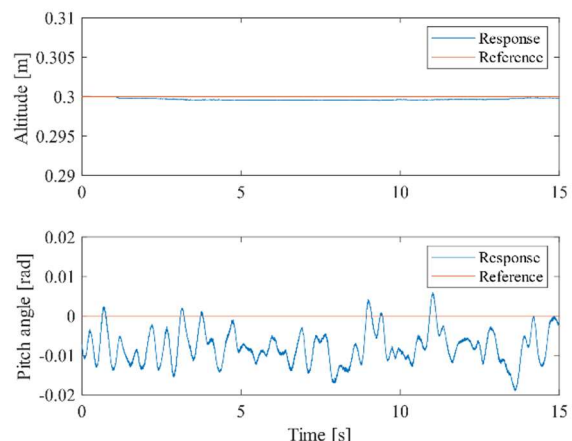


(b) 写真

図 2 ドローンテストベンチ



(a) シミュレーション結果



(b) 実験結果

図 3 姿勢制御応答

4. 今後の研究の見通し

前章で記述した通り、機体姿勢制御において、ピッチ角制御に課題がある。シミュレーションでは実験での現象が再現できていないため、シミュレーションと実験の差異を検証した後、再実験を行い、地面効果領域における安定な制御器を実装する。

実験機においても、以下の課題がある。

- ・フレームが細いため、浮上実験時にフレームが振動する。
- ・高度制御において、わずかに上下運動しており、リニアガイドの静止摩擦が影響していると考えられる。
- ・故障時にプロペラの破片が周囲に飛び危険である。

フレーム強度の増強、治具の工夫、プロペラガードや安全柵の導入により、各課題を解決する。

その後、WPT 実験を実施する。具体的には受電コイルを搭載し、地上側コイルからの飛行中給電模擬実験を行う。2021 年度の課題としていた受電電力量を用いた高度推定技術を実験検証する。

以上の課題を解決した後、2022 年度継続研究を実施する。機体姿勢制御においては、地面効果だけでなく、横風などの外乱力の抑制を実施する。WPT 実験においては、受電側設備（コイルおよび整流器）の軽量化、実際のバッテリーを用いた非接触給電およびプロペラ駆動、バッテリー SoC (State of Charge) を考慮した受電電力制御に取り組む。

5. 助成研究による主な発表論文，著書名

国際会議（投稿予定）

Sakahisa Nagai, “Development of 2-DOF Large-scale Drone Test Bench and Experimental Validation of Disturbance Observer for Attitude Control”, IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE2023)